Die Erscheinungen der Wellenbewegung

oder

die Lehre von Schall, Licht und Wärme.

Physikalische Bilder

im Geiste kosmischer Anschauung

von

Dr. Otto Ule.

Der Mensch an sich selbst, insofern er sich seiner gesunden Sinne bedient, ist der größte und genaueste physikalische Apparat, den es geben kann, und es ist eben das größte Unheil der neuern Physik, daß man die Experimente gleichsam vom Menschen abgesondert hat und bloß in dem, was künstliche Instrumente zeigen, die Natur erkennen, ja was sie leisten kann, dadurch beschränken und beweisen will. Göthe.

Halle,

Druck und Verlag von H. W. Schmidt.

1857.

Vorrede zum zweiten Bande.

So oft der Autor ein Buch in die Welt schickt, überkommt ihn ein Gefühl, als ob ein Theil seines eignen Selbst sich von ihm reiße, ein Gefühl der Bangigkeit, das ihn bis zum letzten Werke seiner Feder begleitet. Da giebt er ihm denn gern ein freundliches Geleitschreiben mit auf den Weg, es zu stählen im Kampfe mit den Anfechtungen, die seiner draußen in der Welt harren. Das werde denn auch diesem meinem Geisteskinde zu Theil, das ich nach einem Zeitraum von zwei Jahren seinem älteren Gefährten nachsende!

Mehr wie jedes andere wird dies Buch seine Anfechtungen erfahren. Es will ja seinen eignen Weg gehen; es hat so etwas Absonderliches in seinen Manieren, seinen Ansichten, seinen Bestrebungen; es verstößt so vielfach gegen die Sitten und Gebräuche seiner Genossen. Da hat es zunächst nichts an sich von dem äußern, doch einmal üblichen Ceremoniel der

Experimente und Formeln. Ist doch die Formel die unentbehrliche Universalsprache des Forschers! Die Lehrerpflicht kann freilich gebieten, die Sprache des Forschers dem Laien gegenüber in seine Sprache zu übersetzen. Aber was ist heute ein physikalisches Buch ohne das Experiment, dieses heilige Rüstzeug des Forschers? Nun ich meine, man braucht sich nicht immer in die schwere Rüstung zu stecken; schon in der Schule pflegt man eine leichtere anzulegen; dem Laien gegenüber, wo es gar nichts zu kämpfen giebt, wird sie ganz unnöthig. Wozu dem Laien von Experimenten erzählen, Apparate abbilden, die ihm vielleicht nie im Leben zu Gesicht kommen, wenigstens so lange die unmittelbaren Erscheinungen dasselbe, wenn auch nicht immer so bequem, leisten? Freilich läßt sich nicht leugnen, daß es Grenzen giebt, wo die Natur sich in ihren Erscheinungen verwickelt, wo unsre Sinne den Dienst versagen, wo es gilt, gordische Knoten zu durchhauen. Da tritt denn das Experiment wieder in sein Recht ein, gerade wie der Botaniker das Mikroskop in die Hände des Laien legt, wo er ihm den innern Bau der Pflanze erschließen will. An diesen Grenzen unmittelbarer Erkenntniß hat auch mein Buch das Experiment keineswegs gescheut, und der Leser wird sich in den letzten Kapiteln bisweilen mitten unter die künstlichen Apparate des physikalischen Kabinets versetzt sehen.

Aber heißt das nicht doch der Oberflächlich-

keit Thür und Thor öffnen? Für den, der nicht denkt, gewiß! Wer aber nicht denkt, ist immer oberflächlich, und kein physikalisches Lehrbuch rettet ihn davor. Ein Solcher meint wohl auch, mit einer Formel sei Alles abgethan, mit dem Ausdruck des Gesetzes habe er auch den Sinn des Gesetzes erkannt. Ja die meisten unserer physikalischen Lehrbücher unterstützen diese Oberflächlichkeit. In welchem Lehrbuche, um nur eins zu erwähnen, ist das Gesetz der Zurückwerfung in seinem Wesen und seiner innern Begründung dargestellt? Man giebt es einfach als Thatsache und bemüht das Denken nicht weiter. Ich wollte denkende Leser. Darum leitete ich sie auf die Wege des Forschers, auf dieselben, oft dornigen Wege, die ich zuvor nur abgesteckt und mit Wegweisern versehen hatte. Darum ließ ich sie selbst die Gesetze suchen und finden. Darum stellte ich nicht eine fertige Theorie an die Spitze, aus der mit Bequemlichkeit die Erklärungen von selbst folgen, sondern ließ die Theorie ein Letztes sein, aus den Beobachtungen erst geboren, einen leitenden Gedanken, der die Erscheinungen ahnend verknüpfte, bis er sich frei über sie emporschwingen konnte.

Aber das Aergste steht noch bevor. Mein Geisteskind hat es gewagt, sich über die alte ehrbare Ordnung seiner Genossen hinwegzusetzen, sich eine eigne Ordnung, ich möchte sagen, sein eignes physikalisches System zu schaffen. Unsere meisten

physikalischen Lehrbücher stehen in der Anordnung ihres Stoffes noch auf derselben Stufe, wie zur Zeit, als man noch an Kraftstoffe glaubte. Aus jedem alten Lehrbuche läßt sich ein nagelneues machen, wenn man nur die neuen Theorien, die neuen Experimente einschaltet und die neuen Entdeckungen zufügt. Die allgemeinen Eigenschaften, die Lehre von Gleichgewicht und Bewegung, die Lehre vom Schall, vom Licht, von der Wärme, Magnetismus und Electricität, das sind noch heute die Hauptkapitel eines physikalischen Lehrbuchs. Das ging recht gut, so lange Wärme, Licht ꝛc. eigne Kraftwesen waren, die nichts mit einander zu schaffen hatten. Seit aber die Verwandlung dieser sogenannten Kräfte bekannt ist, seit man weiß, daß Wärme Bewegung, Licht, electrische, magnetische, chemische Erscheinungen hervorzurufen vermag, daß Wärme geradezu nur unter ganz besonderen Bedingungen Wärme, unter anderen etwas Anderes ist, hat sich ein Wirrwarr in diesen Kapiteln bemerklich gemacht, der nicht mehr zu ertragen ist. Da werden, um nur eins zu erwähnen, in der Lehre von der Wärme die Quellen der Wärme und ihre Wirkungen im Dampfe besprochen; da tritt die Wärme auf bald in der Electricitätslehre, bald in der Mechanik (bei der Reibung), bald in der Chemie. Ich suchte hier Ordnung zu schaffen. Ich habe darum zuerst die *allgemeinen Gesetze und Erscheinungen der Bewegung* behan-

delt, ganz ohne Rücksicht auf ihre Ursachen und Wirkungen. Dann habe ich ebenso allgemein die Gesetze der Wellenbewegung und ihre daraus hervorgehenden Erscheinungen als Schall, Licht und Wärme besprochen. Die Lehre von den Strömungen, von den electrischen und magnetischen Erscheinungen bildet einen dritten Abschnitt. Die Lehre von der Verwandlung der Kräfte, von den mechanischen Wirkungen der Wärme, Electricität rc., von der Erzeugung von Wärme-, Licht-, electrischen Erscheinungen durch mechanische Ursachen, von der Wechselwirkung dieser Kräfte unter einander, gegründet auf das allgemeine Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft, wird den letzten Theil eines solchen physikalischen Lehrgebäudes bilden.

Es mag ein kühnes Unterfangen sein, ohne den Beruf eines wissenschaftlichen Amtes, ja ohne den Schutz eines berühmten Namens für sich zu haben, mit einer solchen Neuerung hervorzutreten. Aber ich bin nun einmal kein Freund des Alten, — wenn es sich überlebt hat! Und dann, gestehe ich offen, bin ich auch gar nicht von Hause darauf ausgegangen, etwas Neues zu erfinden und patentiren zu lassen; es hat sich mir unter der Hand gemacht; der Stoff wollte unter meiner Feder sich nicht in die alten Formen bequemen, so mußte ich ihm neue geben. Also die Wissenschaft selbst, ihre neue Anschauung trägt die Schuld. Ist es aber

neu, was ich bringe, findet es Anerkennung, vielleicht gar Nachahmung, so soll es mir recht sein.

Schließlich noch ein Geständniß! Ich bin ein Feind aller Sentimentalität. Aber ich kann mich nicht dazu entschließen, wenn ich einen Lehrstuhl besteige, mein Gemüth zuvor wie Hut und Handschuh bei Seite zu legen. So hat denn auch mein Buch sich unterfangen, auf dem Gebiete der strengen und bisher so streng gehaltenen Wissenschaft einmal die Saiten des Gemüthes anschlagen zu wollen. Es sind ja Bilder, die es bringt, und beim Anschauen von Bildern muß auch der strengste Kritiker dem Verstande das Gemüth zur Seite lassen. So möge denn dies Buch hingehen und jene Saiten tönen lassen in Harmonie mit den Wellen der Wissenschaft, die es in ihrer wunderbaren Gesetzlichkeit zu schildern versucht.

Halle, den 13. December 1856.

Otto Ule.

Inhalt des zweiten Bandes.

Erstes Kapitel.

Die Wellenbewegung.

Die grüne Schule ist wieder geöffnet. Der Winter ist vorüber, und das starre Weiß seiner Schneeflächen, das dumpfe, wirre Rauschen seiner Stürme hat sich in eine bunte Harmonie von Farben und Tönen aufgelöst. Das warme Leben regt sich draußen wieder; wie darf es schlummern in uns, in dem verjüngten Abbilde des großen Weltganzen, das wir Seele nennen?

Aus den genußreichen Tagen des Sommers hatten wir Früchte hinüber genommen in das enge Winterstübchen und in den Ernst des geschäftlichen Lebens. Diese Früchte bargen Kerne in sich, und in diesen Kernen ruhten Keime, die jetzt, wie draußen in der Frühlingserde, die Frühlingssonne zum Leben weckt. Die freundlichen Lehren der Natur blieben nicht todt, neue Gedanken gingen daraus hervor, neue Fragen, die nach Lösung drängen. Darum hinaus in die milde Frühlingsluft, damit sie auch diese Gedankenkeime befruchte!

Noch zeigt sich kaum ein grüner Schimmer auf den aus der Erstarrung erwachten Fluren. Es scheint, als ob in Licht und Klang das neue Leben zuerst hereinziehen wolle, so hell strahlt die Sonne, so lustig singen die Lerchen

im reinen Himmelsblau. Dieses stille, zarte Leben aber. was hat es gemein mit jenem wilden, rohen Treiben und Bewegen, das wir neulich in der Natur gewahrten, mit jenem Stoßen und Stürzen und Drängen, von dem uns Sturm und Regen, Mühlbach und Wasserfall, Ball und Kreisel, Hebel und Rolle, Keil und Schraube erzählten? Gibt es noch ein andres geheimnißvolles Regen dort draußen, oder birgt sich ein ebenso wildes und stürmisches Bewegen hinter diesem stillen und lieblichen Schein? Mit dieser Frage im Herzen treten wir wieder in die lebendige Schule der Physik ein.

Im goldnen Sonnenglanz breitet sich die Fläche eines kleinen Sees vor uns aus, so still und unbewegt, daß sie, wie ein Spiegel, unser Bild uns entgegenstrahlt. Da zieht ein leiser Lufthauch über die Wasserfläche hin, sie leicht und flüchtig kräuselnd, wie ein trüber Gedanke, der über ein lächelndes Antlitz fliegt. Aber nur einen Augenblick währt die Erscheinung; mit der störenden Ursache schwindet auch die Störung. Die gewaltige Macht der Schwere stellt das Gleichgewicht der Wassertheilchen wieder her. Ein Knabe am Ufer, von dem flüchtigen Spiele ergötzt, versucht jetzt es auf's Neue hervorzuzaubern. Er hebt ein kleines Steinchen vom Boden auf und wirft es mitten in den Spiegel des Sees. Der Stoß ist kräftiger, und tiefer sinkt das Wasser über dem zum Grunde fallenden Steine. Aber schnell erhebt sich wieder ein kleiner Wasserberg aus dem Trichter, und von ihm gehen rings nach allen Seiten kreisförmige Wellen aus, die bis zu uns an das Ufer dringen. Wie durch einen

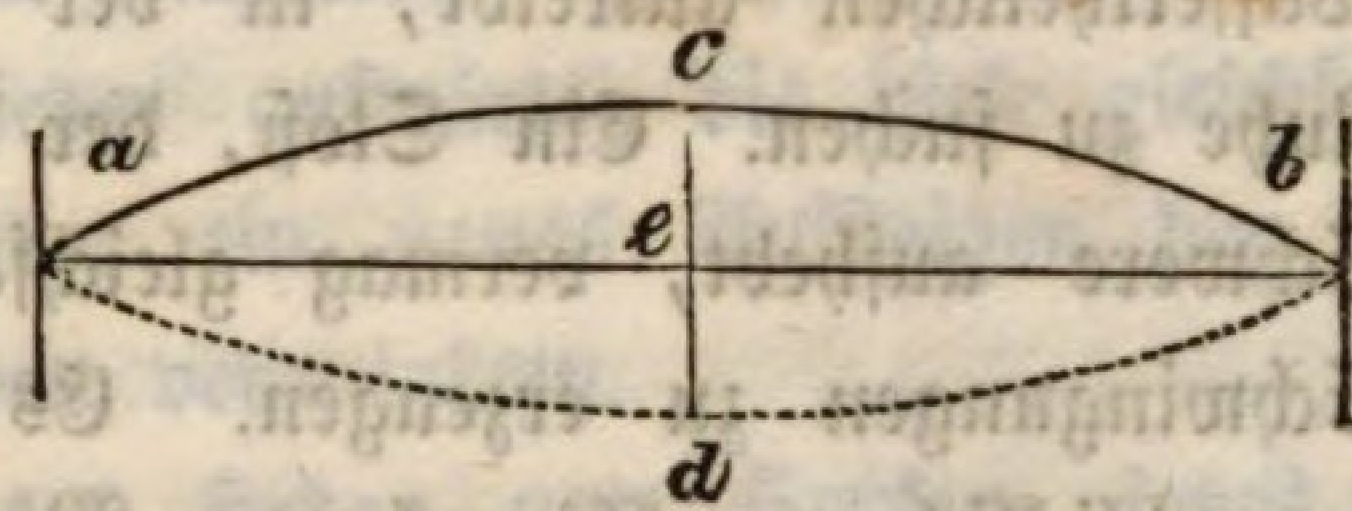
Zauber ist plötzlich der stille Spiegel des Sees in Aufregung versetzt, und nur in der kleinen Bucht, wo unter dem Schutze von Schilf und Binsen eine grüne Entengries-Schicht das Wasser bedeckt, scheint die allgemeine Unruhe keinen Anklang zu finden. Längst ist der Stein verschwunden, längst der Wasserberg, der sich über ihm erhob, hinabgesunken, und noch immer ziehen die Wellen von jenem Mittelpunkte her, noch immer taucht ein Berg und eine Welle nach der andern auf. Daß dem Steinwurfe eine Bewegung folgen mußte, ist begreiflich; das Gleichgewicht der Wasserfläche war gestört und mußte wieder hergestellt werden. Aber woher dies Fortwirken, diese stete Wiederholung der Erscheinung? Der Knabe hat uns eine Frage aufgeworfen, die wir zu lösen versuchen wollen.

Wenn wir dem äußern Anschein folgen dürfen, so ist es die Wassermasse selbst, die sich hier in Wellenform dem Ufer zu bewegt. Hastig stürzt sich ein Wellenberg nach dem andern in das ihm voraneilende Wellenthal, als dränge es ihn jene Stelle zu fliehen, an welcher der Stein hinabstürzte. Aber der Schein trügt so oft, und so auch hier! Sehen wir genauer zu. Dort gegen die Mitte des Sees hin schwimmt ein kleines Blättchen auf dem Wasser. Schreitet das Wasser wirklich auf uns zu, so muß es das Blättchen mit sich hertragen. Aber das Blättchen taucht auf und nieder, schaukelt sich hin und her, und die Wellen gleiten unter ihm fort; es kommt nicht näher. Sollte also diese fortschreitende Bewegung der Wellen nur eine scheinbare sein, und nichts als ein Auf- und Niederschwanken der Wassertheilchen stattfinden?

Dann wäre es also nur die Form der Oberfläche, die fortschritte und dadurch die Täuschung erzeugte. Wir erinnern uns allerdings ähnlicher Erscheinungen, die uns als Kinder oft ergötzten. Wir nahmen ein langes Seil, das wir mit dem einen Ende an einen Pfosten festknüpften, während wir es am andern mit der Hand spannten, und schlugen dann mit einem Stocke darauf. Durch diesen Stoß erhielt das Seil in der Nähe der getroffenen Stelle eine kleine Ausbeugung nach unten, aber diese Ausbeugung durchlief dann noch weiter das ganze Seil und kehrte sogar von dem festgeknüpften Ende zur Hand zurück. Das ganze Seil also gerieth durch den einen Stoß in eine Reihe von Schwingungen, von fortlaufenden Wellen. Hier war es doch offenbar nur die Form, welche sich fortbewegte; die Theile des Seiles blieben in unverändertem Zusammenhange.

Jedenfalls besteht zwischen diesen beiden Erscheinungen eine solche Verwandtschaft, daß wir uns aus der einen eine Aufklärung über die andre versprechen dürfen. Die Ursache der fortschreitenden Wellenbewegung des Seiles ist aber leicht zu erkennen. Die Wirkung des Stoßes pflanzt sich hier in der That auf das ganze Seil fort; denn die ganze Spannung des Seiles ist gestört und jeder einzelne Theil ist bestrebt die gestörte Ruhelage wiederherzustellen. Alle einzelnen Punkte ahmen also nach einander die Bewegung des zuerst bewegten Punktes nach. Aber worin besteht nun diese Bewegung? Der gestoßene Theil des Seiles (adb) folgt der Bewegung abwärts, bis die Kraft des Stoßes nachläßt. Dann

aber tritt sofort die zusammenziehende Kraft des gespannten Seiles wieder ein und treibt es mit wachsender Geschwindigkeit in die ursprüngliche Lag aeb zurück. In dieser Lage



aber hat der elastische Zug nach oben gerade seine größte Geschwindigkeit erreicht; das Seil kann also unmöglich hier plötzlich zur Ruhe kommen, sondern weicht nun nach oben (nach acb) aus, bis die Geschwindigkeit dieses neuen Stoßes gleichsam wieder vernichtet ist. Dann tritt die Spannkraft wieder ein, setzt das Seil in die entgegengesetzte Bewegung und treibt es wieder über die Ruhelage hinaus. So schwingt das Seil beständig auf und nieder, bis die allgemeinen Hindernisse aller Bewegung, Steifheit des Seils, Reibung, Luftwiderstand auch diesem Schwingen ein Ziel setzen. Jeder einzelne Punkt des Seiles beschreibt dabei stets nur eine kleine grade Linie auf und ab, senkrecht gegen die Richtung des Seiles, und nur indem alle Punkte nach einander diese Bewegung beginnen, wird die Form einer fortschreitenden Welle erzeugt.

Wie steht es nun mit unsern Wasserwellen? Ist dabei eine ähnliche wechselnde Spannung und ein Auf- und Niederhüpfen der Theilchen zu denken? Besitzt das Wasser auch freilich nicht jene Elasticität, die in der Zusammenhangskraft der festen Körper begründet ist, so vermag doch hier die Schwere eine ähnliche Spannung

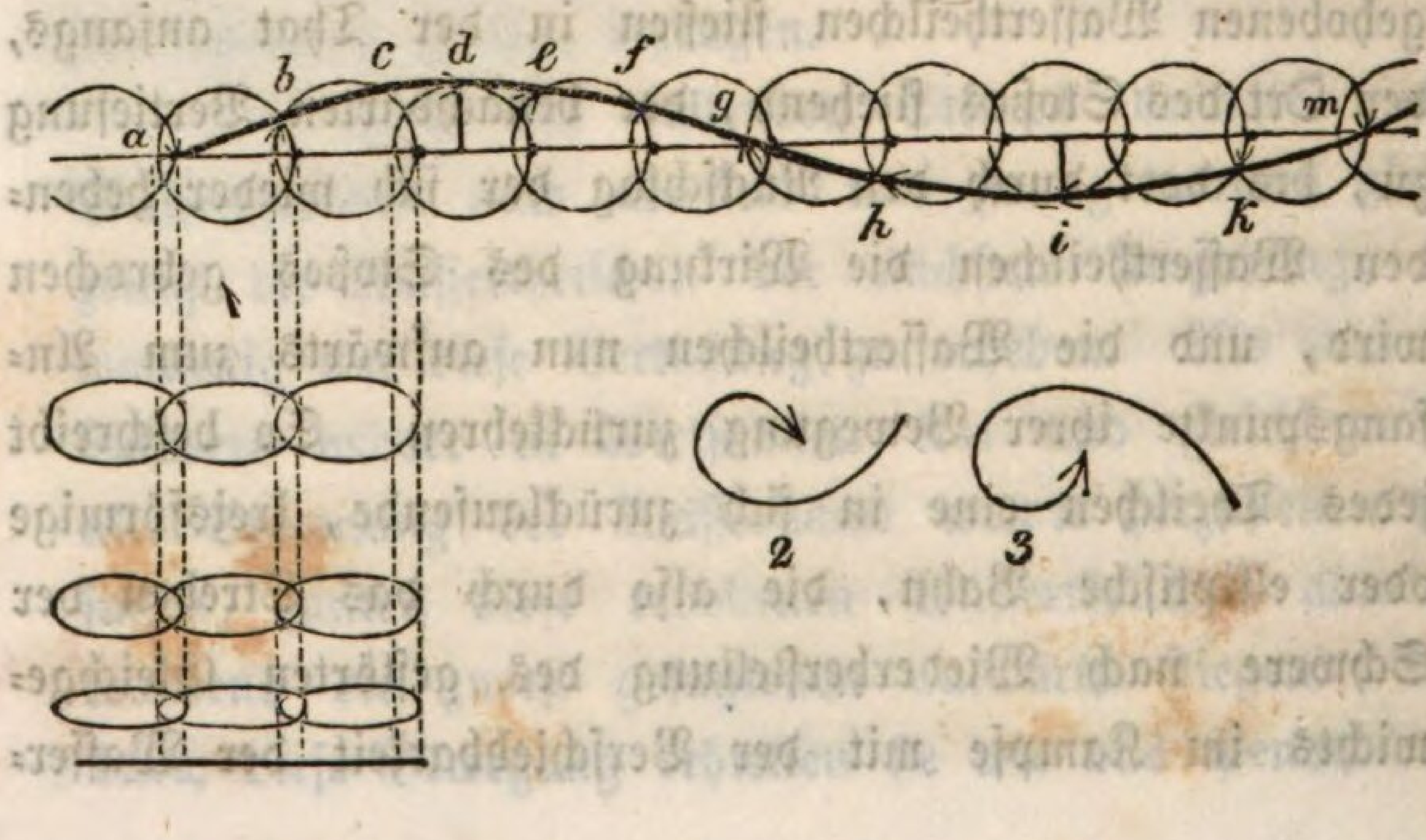
der Oberfläche zu bewirken, indem sie die beweglichen Wassertheilchen antreibt, in der horizontalen Lage ihre Ruhe zu suchen. Ein Stoß, der dieses Gleichgewicht der Schwere aufhebt, vermag gleichfalls lange nachhaltende Schwingungen zu erzeugen. Es gibt überhaupt wenig augenblicklich vorübergehende Wirkungen in der Natur. Ein erster Anstoß regt immer eine endlose Reihe von Bewegungen an, die sich nur oft durch ihre Kleinheit unsern unachtsamen Blicken entziehen. Wir lernten solche Bewegungen beim Pendel kennen. Ein Stoß trieb es aus seiner Gleichgewichtslage, die Schwere zog es wieder zurück; aber die Geschwindigkeit, welche es durch diesen Fall erlangt hatte, trieb es in entgegengesetzter Richtung wieder aufwärts, bis die Schwere es wieder herab und der Fall es wieder zur andern Seite trieb. So entstand ein beständiges Hin- und Herschwingen, das seiner Gleichmäßigkeit wegen für uns ein Mittel zur Zeitmessung wurde. In ähnlicher Weise sehen wir die Schwere auf der gestörten Wasserfläche wirken und statt der Pendelschwingungen Wellen erzeugen.

Der Stoß des fallenden Steines drängte einige Wassertheilchen nach abwärts und zwang dadurch gleichzeitig die Wassertheilchen der nächsten Umgebung, sich wallartig um diese Vertiefung zu erheben. Als nun die Schwere wieder in Wirksamkeit trat und gleichsam die alte Spannung der Wasserfläche wieder herzustellen versuchte, sanken diese erhobenen Wassertheilchen abwärts, während die zuerst gesunkenen aufwärts stiegen. Aber durch diese Bewegung erhielten sie wie das Pendel durch

seinen Fall einen neuen Anstoß, der sie über die Ruhelage hinaustrieb. Die sinkenden Theilchen drängten ihre nächste Umgebung wieder aufwärts, bis diese gleichfalls niedersanken und wieder ein neues Aufsteigen der umgebenden Wassertheilchen veranlaßten.

So entstand jenes Heben und Senken, jenes beständige Auf- und Niederschwanken, das sich in immer weitere Entfernungen mittheilend, die Form der scheinbar fortschreitenden Welle erzeugte. Aber bewegen sich denn auch wirklich die Wassertheilchen nur auf und nieder, gerade wie die Theile eines schwingenden Seiles? Gliche die Wassermasse auch in ihrer Festigkeit, in dem Zusammenhange ihrer Theile dem gespannten Seile, so könnte allerdings nichts Andres stattfinden. Aber die Wassertheilchen sind unter einander verschiebbar, die Wirkung des Stoßes pflanzt sich nicht nur allmälig von Theilchen zu Theilchen fort, sondern schiebt sie auch wirklich etwas seitwärts und versetzt sie dadurch in eine Art drehender, kreisender Bewegung. Die sämmtlichen durch den Stoß gehobenen Wassertheilchen fließen in der That anfangs, den Ort des Stoßes fliehend, der benachbarten Vertiefung zu, bis dort durch den Rückschlag der sich wieder hebenden Wassertheilchen die Wirkung des Stoßes gebrochen wird, und die Wassertheilchen nun aufwärts zum Anfangspunkte ihrer Bewegung zurückkehren. So beschreibt jedes Theilchen eine in sich zurücklaufende, kreisförmige oder elliptische Bahn, die also durch das Streben der Schwere nach Wiederherstellung des gestörten Gleichgewichts im Kampfe mit der Verschiebbarkeit der Wasser-

theilchen erzeugt wird. Dessenungeachtet darf es uns nicht wundern, daß die äußere Erscheinung dieser Bewegungen dieselbe Wellenform ist, wie die der nur auf- und niederschwingenden Theilchen des Seiles. Zur Fortpflanzung aller Bewegung gehört eine Zeit. Während also die durch den Stoß angeregte und durch das Ausgleichungsstreben der Schwere fortgesetzte Bewegung von einem Wassertheilchen zum andern fortschreitet, gewinnt das erste Zeit, einen gewissen Theil seiner Kreisbahn zurückzulegen, und im Augenblick, wo das dritte Theilchen seine Bewegung beginnt, ist auch das zweite schon in seiner Bahn vorgeschritten. Während also das erste Theilchen seine Kreisbahn vollendet, theilt sich die Bewegung nach einander einer ganzen Reihe von Theilchen mit, deren jedes am Schlusse dieses Zeitraums sich natürlich in einem andern Punkte seiner Bahn befindet, eines in dem höchsten, ein andres in dem niedrigsten. Diese einzelnen Punkte sind es nun, welche die Oberfläche des bewegten Wassers begrenzen, seine Wellenform beschreiben. In



jedem folgenden Augenblicke wird diese Form zwar die gleiche sein, aber an einer andern Stelle sich zeigen, weil die einzelnen Wassertheilchen bereits andere Stellen in ihren Bahnen einnehmen und neue Theilchen von der Bewegung ergriffen sind. So muß also die Form der Welle fortschreiten, weil doch jedes einzelne Wassertheilchen einmal den höchsten und den tiefsten Punkt seiner Bahn erreichen, den Gipfel des Wellenberges und die Tiefe des Wellenthales bilden muß. Jene schönen Wellen also, die sich dort vor uns schaukeln, sie sind nur ein schöner Schein, eine wechselnde Hülle inneren Bewegens, und so oft eine neue Welle auftaucht, erzählt sie uns nur, daß soeben ein Wassertheilchen einen Kreislauf, eine Schwingung vollendet hat und eine neue beginnt.

Auch in die Tiefe aber pflanzt sich die Wellenbewegung der Oberfläche fort; denn auch dorthin wirkte der Stoß, und auch dort regt sich das Ausgleichungsbestreben der Wassertheilchen. Gleichzeitig mit den Theilchen der Oberfläche beginnen auch die der Tiefe ihre Kreisbahnen zu beschreiben, die unter dem Drucke der Wassermassen allmälig immer kleiner werden oder, von dem Gegendrucke des Bodens in immer flachere Ellipsen zusammengedrückt, zuletzt in ein einfaches horizontales Hin= und Herschwanken übergehen. Die Tiefe, bis zu welcher diese Wellenbewegung noch hinabreicht, hat man auf das 350fache der Wellenhöhe geschätzt. Demnach läßt sich also wohl begreifen, wie die gewaltigen Wellen des offenen Oceans, deren Wellenberge meist Höhen von 6—8 Fuß neben eben so tiefen Thälern, bisweilen

selbst die doppelten Höhen erreichen, den Grund des Meeres noch bei 4—5000 Fuß Tiefe aufzuwühlen und mit seinen Sandmassen die Ufer zu überschütten vermögen.

Als sich uns die Ueberzeugung aufdrängte, daß hier im eigentlichen Sinne von keiner fortschreitenden Bewegung der Wellen die Rede sein könne, da wurde es uns bedenklich, ob wir denn auch noch von einer Geschwindigkeit der Wellen sprechen dürften, und ob uns nicht vielmehr eine gänzliche Umwälzung unseres bisherigen Sprachgebrauchs bevorstehe. Damit steht es nun in der That nicht so schlimm. Höchstens eine etwas andere Bedeutung werden wir manchem unsrer Ausdrücke beilegen müssen. Jede Welle, die zu uns ans Ufer kam, erzählte uns, daß ein Wassertheilchen eine Schwingung vollendet hatte, und es war in der That, als ob jenes Blättchen, das in der Mitte des Sees auf und niederschwankte, uns jedes Mal von der Spitze einer Welle die Bestätigung dieser Erzählung zuwinken wollte. Wenn also jetzt die kräftigeren Wellen, die wir durch den Wurf eines größeren Steines im See erregten, auch schneller auf uns zueilen, so verkünden sie damit, daß jetzt auch das Wassertheilchen schneller seine Schwingungen vollendet. In dem Kommen der Wellen, in dem Dahineilen dieser Oberflächenform spiegelt sich also das Bild der wirklichen Geschwindigkeit der schwingenden Wassertheilchen.

Aber die neuen kräftigeren Wellen zeigen sich auch höher und kürzer als die früheren. Daß ein heftigerer Stoß auch schnellere Schwingungen veranlaßte, versteht

sich von selbst. Erinnern wir uns nun der Entstehungsweise der Wellenform. Je schneller die einzelnen Wassertheilchen kreisen, auf desto weniger Theilchen vermag sich entweder während einer solchen Schwingung die Bewegung fortzuflanzen, desto kürzer werden also die Wellen, oder desto größere Kreise müssen diese Theilchen durchlaufen, desto höher müssen die Wellen werden, wenn sie dieselbe Zeit für die Mittheilung der Bewegung und damit dieselbe Länge der Wellen gestatten sollen. Von der Wirkung des Stoßes hängt also auch die Höhe und Breite der Wellen ab.

Die Wirkung unseres Steinwurfs hat indessen allmälig nachgelassen; jene Hindernisse, die allen Bewegungen in der Natur ihr Ziel setzen, hat auch sie gebrochen. Die Wassertheilchen beschreiben immer kleinere Bahnen, die Wellen flachen sich immer mehr ab und dehnen sich in die Breite. Ihr lustiges Plätschern am Ufer ist verstummt, lautlos schleichen sie zu unsern Füßen hin, sterbende Zeugen längst vergangener, ferner Dinge. Der Stein, der sie erregte, ruht längst auf dem Grunde des Sees.

Wir schreiten jetzt an dem Ufer des Sees fort jener Stelle zu, wo ein ziemlich breiter Graben seine Wasser aufnimmt, um sie durch ein enges Mühlengerinne einer weiter abwärts stehenden Mühle zuzuführen. Auf der Brücke, welche über diesen Graben führt, wenden wir noch einmal unsre Blicke zu der stillen Fläche des Sees, die, ein Auge der Landschaft, das Bild des Friedens und der Klarheit aus der Natur in unsre Seele spiegelt.

Aber unser Friedenstraum findet schnell ein Ende. Der muthwillige Knabe, der vorhin durch seinen Wurf zuerst unsre Aufmerksamkeit auf das schöne Spiel der Wellen gelenkt hatte, hat soeben eine Hand voll Steine ergriffen und schleudert sie mitten in die stille Fläche des Sees. Das Wasser spritzt hoch auf, und zahlreiche Wellenkreise bilden sich rings um die versinkenden Steinchen und die niederfallenden Tropfen. Gespannt harren wir des Schauspiels, das uns der Kampf dieser Wellenkreise in ihrem Zusammenstoß gewähren soll. Aber für den ersten Anblick scheint es, als ob es gar nicht zu einem solchen Kampfe komme. Die sich erweiternden Wellenkreise durchkreuzen zwar einander, aber unverändert geht jede Welle aus dieser Durchkreuzung hervor, und ungestört, als ob sie von Anfang an allein dagewesen wäre, schreitet sie fort. Bei genauerem Hinschauen möchten wir aber doch fast glauben die Spuren stattgehabter Kämpfe zu entdecken. Es scheint uns wenigstens, als ob die Wellenkreise nach ihrer Durchkreuzung nicht mehr die schöne gleichmäßige Wölbung besäßen, als ob an einzelnen Durchkreuzungsstellen ihre Berge viel höher, ihre Thäler viel tiefer geworden wären, an anderen sogar eine völlige Ausgleichung, eine Ebung der Berge und Thäler stattgefunden hätte. Wir täuschen uns in der That nicht. Entgegengesetzte Bewegungen können nicht ohne Kampf aneinander vorübergehen. Zwar haben wir es hier nur mit dem Scheine einer Bewegung, mit fortschreitenden Formen zu thun. Aber unter diesem Scheine birgt sich doch eine wirkliche Bewegung, die Schwingung der Was-

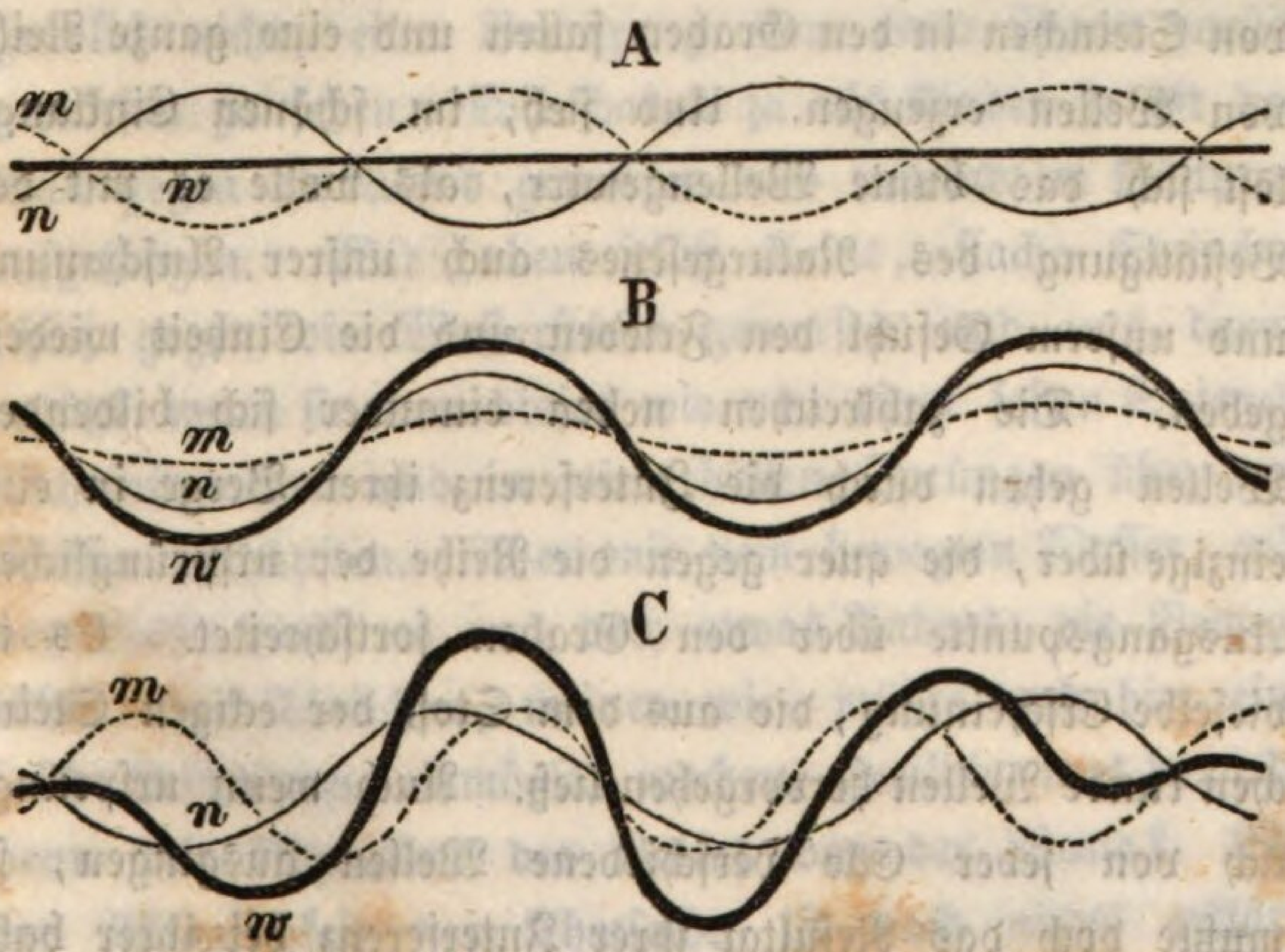
ſertheilchen. Die einander entgegeneilenden Wellen zeigen uns eben an, daß ihre Waſſertheilchen in entgegengeſetzte Schwingungen verſetzt ſind. Stoßen nun zwei Wellenberge auf einander, ſo hat das höchſte Theilchen jedes Gipfels ſoeben ſeine Bewegung nach oben gerichtet. Von beiden Seiten her drängen die folgenden Waſſertheilchen nach, und es bleibt ihnen kein andrer Ausweg, als ſich in ihrer Bewegung aufwärts zu vereinigen. So bildet ſich eine einzige hohe Welle, die aus der Verſchmelzung der beiden aufeinander treffenden Wellenberge hervorgeht. Von dieſer Höhe ſtürzen die Waſſertheilchen mit vereinigter Kraft zu ebenſolcher Tiefe hinab, drängen zu beiden Seiten die benachbarten Theilchen zu derſelben Höhe empor und erzeugen ſo zwei nach entgegengeſetzter Richtung fortſchreitende erhöhte Wellen. Wo zwei Wellenthäler auf einander trafen, entſtand ebenſo aus der gemeinſamen Bewegung ihrer Theilchen nach abwärts ein Thal von doppelter Tiefe. Wo aber Berg und Thal einander durchkreuzten, da hoben die in entgegengeſetzter Richtung nach aufwärts und abwärts ſchwingenden Theilchen einander in ihrer Bewegung auf und ſtellten hier die ruhige Ebene der Waſſerfläche her.

Obgleich wir bereits früher erfahren haben, daß ein allgemeines Naturgeſetz beſteht, wonach ſtets zwei Bewegungen, welcher Art ſie auch ſein mögen, einander in ihren Wirkungen entweder verſtärken oder ſchwächen müſſen, je nachdem ſie gleich gerichtet oder einander entgegengerichtet ſind, ſo wäre es uns bei der Eigenthümlichkeit der Wellenbewegung doch nicht zu verargen, wenn

wir auf den ersten Blick Anstand nahmen, jenem Gesetze auch hier Geltung zu gestatten. Es bedurfte jedenfalls eines strengen Festhaltens an dem eigentlichen Wesen der Wellenbewegung, um uns vor einer verkehrten Ansicht von jener Erscheinung zu schützen, die der Physiker die Interferenz der Wellen nennt, von jener Erscheinung nämlich der gegenseitigen Vernichtung zweier Wellen, die mit Berg gegen Thal auf einander treffen. Aber wir möchten vollends kaum unsern Augen trauen, da wir auch zwei Wellen, die hinter einander hergingen, also augenscheinlich dieselbe Richtung verfolgten, jetzt, wo sie einander erreichen, sich gegenseitig vernichten und zur stillen Fläche ebnen sehen. Und doch löst sich aller Zweifel so leicht, wenn wir uns zurückrufen, daß die fortschreitende Bewegung der Wellenform nur Schein, daß die Schwingung der Theilchen die einzig wirkliche Bewegung ist. Dann gewahren wir den Gegensatz, der in der That zwischen den schwingenden Theilchen des zusammentreffenden Wellenberges und Wellenthales besteht, und begreifen, daß dies Zusammentreffen nichts andres ist, als die gleichzeitige Anregung desselben Wassertheilchens, eine Schwingung aufwärts und eine Schwingung abwärts zu beginnen, und daß das Resultat dieses Widerspruches nur die Ruhe sein kann.

Es giebt nicht leicht eine Empfindung, die sich mit der edlen Freude über eine selbstgefundene Lösung eines schwierigen Räthsels vergleichen läßt. Wir kommen uns gleichsam wie Entdecker vor und sehen bereits eine ganze Reihe lichtvoller Ergebnisse aus dieser einen klar erkann-

ten Thatsache fließen. Wir können unsre Gedanken nicht von diesem neuen Eigenthume abwenden und spielen damit wie Kinder, indem wir es immer aufs Neue anschauen und alle seine Eigenthümlichkeiten entfalten lassen. Eine solche Empfindung ist es, die uns jetzt noch auf der Brücke festhält, nachdem wir das scheinbare Gewirr sich durchkreuzender Wellen in seiner vollen Einfachheit und Gesetzlichkeit erfaßt haben. Wir können nicht scheiden, ohne den Versuch gemacht zu haben, diese Erscheinungen in bewußter und denkender Weise hervorzurufen. Wir lassen daher von der Brücke aus einige Steinchen nacheinander in das Wasser fallen und geben uns Mühe, die Zeiträume genau so abzumessen, daß wir das eine Mal einen Wellenberg erzeugen an einer Stelle, wo die vorhergehende Welle in demselben Augenblicke ein Wellenthal bilden müßte, das andre Mal den neuen Wellen-



berg genau zu derselben Zeit hervorrufen, wo auch die alte Welle sich erhebt. Endlich nach mancherlei Versuchen gelingt es uns. Wir sehen die um ihre halbe Breite auf einander folgenden Wellen (m u. n) einander ebnen und ausgleichen (Fig A), sehen die um ganze Wellenbreiten hinter einander erzeugten Wellen in ihrem Zusammentreffen einander verstärken zu höheren Bergen und tieferen Thälern (Fig. B), sehen endlich, da wir ungleiche Steine fallen und eine stärkere Welle (m) hinter einer schwächern (n) folgen ließen, alle diese Erscheinungen sich vereinigen und eine trotz des bunten Wechsels doch regelmäßige Folge von höheren und flacheren Bergen und Thälern und Ebenen (w) entstehen (Fig. C). Zuletzt, um unsrer Lust an diesem wohlverstandnen Wellenspiel und dem gleichzeitigen Behagen an diesen schönen Formbildungen volles Genüge zu gewähren, lassen wir neben einander eine ganze Reihe von Steinchen in den Graben fallen und eine ganze Reihe von Wellen erzeugen. Und sieh, im schönen Einklange löst sich das bunte Wellengewirr, als wolle es mit der Bestätigung des Naturgesetzes auch unsrer Anschauung und unserm Gefühl den Frieden und die Einheit wiedergeben. Die zahlreichen neben einander sich bildenden Wellen gehen durch die Interferenz ihrer Berge in eine einzige über, die quer gegen die Reihe der ursprünglichen Ausgangspunkte über den Graben fortschreitet. Es ist dieselbe Erscheinung, die aus dem Stoß der eckigen Steinchen runde Wellen hervorgehen ließ. Auch wenn ursprünglich von jeder Ecke verschiedene Wellen ausgingen, so mußte doch das Resultat ihrer Interferenz bei ihrer bald

erfolgenden Kreuzung eine einzige in Kreisen fortschreitende Welle sein.

Der Graben, über welchen uns die Brücke führte, ist an seinen Ufern durch ein hölzernes Bollwerk geschützt. Indem wir jetzt an diesem Bollwerk entlang gehen, sehen wir die Wellen, die wir vorhin im Graben erregten, noch immer zum Ufer eilen, gegen die Wand schlagen und von ihr zurückprallen. Die Wellen werden durch diesen Stoß nicht vernichtet, sondern kehren scheinbar unverändert zur Mitte zurück. Die Wellenbewegung scheint nun einmal die ganze Fülle ihrer Erscheinungen entfalten zu wollen, unsre Sinne und Gedanken sind einmal rege geworden, wir können uns auch jetzt nicht gedankenlos von dieser neuen Beobachtung abwenden. Noch einmal lassen wir uns durch die flüchtigen Wellen festhalten.

Etwas Neues scheint es freilich für den ersten Augenblick nicht, eine Bewegung von einer Wand zurückgeworfen zu sehen. Wir haben ja als Kinder so oft den Ball gegen die Wand geworfen und jubelnd im Rückprall aufgefangen. Wir haben selbst kleine, flache Steinchen schief gegen die Wasserfläche geworfen und uns daran ergötzt, wenn sie von dieser wie von einer festen Spiegelfläche abprallten und in wiederholten Sprüngen über das Wasser hinhüpften. Aber mit dem bewegten Wasser, mit der Welle dünkt es uns doch etwas Andres; die Beweglichkeit der Theilchen, meinen wir, müßte doch hier eine solche Erscheinung unmöglich machen. Freilich, was bewirkte denn das Abprallen des Balles von der Wand? Mit der Alltäglichkeit der Thatsache ist noch nichts erklärt,

und ihre ursächliche Begründung ist uns, recht besehen, grade so fremd wie diese neue Erscheinung.

Steckt denn in der Wand, müssen wir fragen, eine thätige Kraft, welche den Ball zurückwerfen kann? So scheint es fast; denn thäte die Wand nichts Andres, als daß sie der Bewegung des Balles ein unüberwindliches Hinderniß entgegensetzte, seinen Stoß vernichtete, so müßte der Ball ja der einzigen noch übrig bleibenden Kraft, dem Zuge der Schwere folgen, senkrecht zum Boden fallen. Aber er fliegt im Bogen zu uns zurück, also von einer neuen, früher nicht vorhandenen Kraft getrieben. Oder erwachte diese vielleicht in dem Balle? Das dünkt uns wahrscheinlicher: denn eine weiche Thon- oder Bleikugel würde allerdings nicht so von der Wand zurückgeprallt sein.

Unsern Ball wußten wir schon als Kinder von der Bleikugel dadurch zu unterscheiden, daß er einem Drucke nur augenblicklich nachgiebt, sich nur vorübergehend zusammendrücken läßt, dann aber schnell wieder in seine ursprüngliche Form zurückkehrt, während die Bleikugel bleibende Folgen des Druckes zeigt. Wir lernten später diese innere Gegenwirkung als Elasticität oder Federkraft bezeichnen. Bei dem Stoße gegen die Wand erfuhr der Ball nun einen solchen Druck, und die Elasticität, welche diese Zusammendrückung wieder aufhob, trieb ihn darum in entgegengesetzter Richtung zurück. Die innere Bewegung wurde zu einer äußeren, weil die Theile zusammenhängen, und die ausdehnende Bewegung nur nach der der Wand entgegengesetzten Seite freien Raum fand. Erfolgte der

Stoß schief gegen die Wand, wie wir es so oft an der rollenden Kugel auf dem Billard sahen, so setzte sich die Rückbewegung aus einer doppelten zusammen, aus dem senkrecht von der Wand erfolgenden Stoße und der unverändert längs der Wand forttreibenden Kraft. Die rückprallende Kugel durchlief die Diagonale ec eines Kräfteparallelogramms aefc, ganz dem Parallelogramm befd gleich, als dessen Diagonale die Richtung ihres ursprünglichen Stoßes de angesehen werden konnte, nur in veränderter Lage wegen der veränderten Richtung des Stoßes. Die rückprallende Kugel schlug also in demselben Winkel von der Wand ab, unter welchem sie aufgeschlagen war.



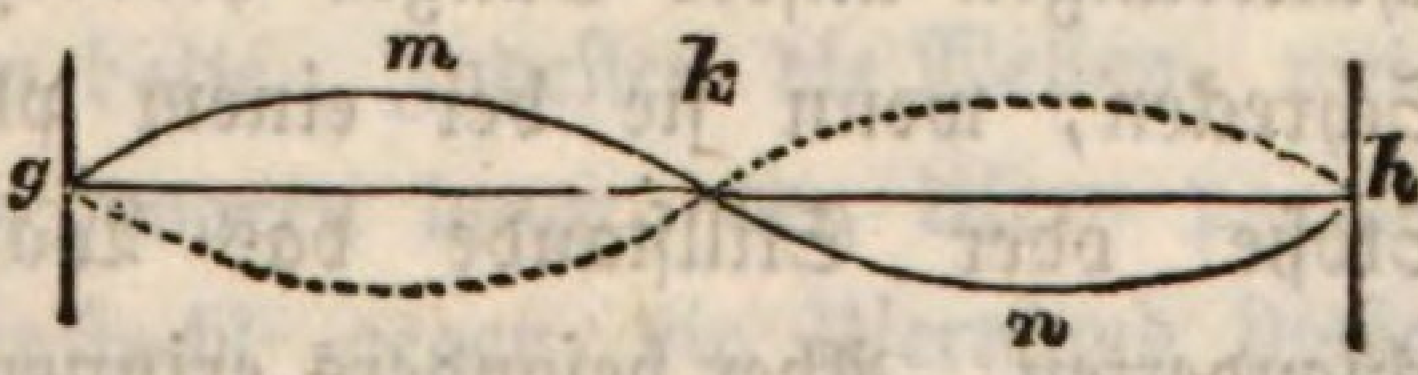
Dies war das Gesetz für die Zurückwerfung der Körper. Es mußte ein allgemeines sein für jedes Zusammentreffen elastischer Körper, gleichviel ob sie es mehr oder weniger, ob es nur der eine oder beide sind, obgleich es, wie wir wissen, so wenig ganz elastische, als ganz unelastische Körper giebt. Denn das Wesen der Erscheinung besteht eben nur darin, daß die Bewegung des gestoßenen Körpers nicht in der Zusammendrückung verloren geht, nicht durchaus in eine innere, als solche nicht mehr zu erkennende Bewegung der Theilchen verwandelt wird, sondern wenigstens theilweis von diesen zurückgewiesen oder dem Ganzen zurückgegeben wird.

Also mit einem solchen elastischen Balle sollen wir nun die Welle vergleichen, die wir von der Wand des

Grabens zurückprallen sahen! So schwer uns das für den Augenblick dünkt, dürfte es uns doch gelingen, wenn wir uns die wahre Natur der Wellenbewegung ins Gedächtniß zurückrufen. Durch den ersten Stoß hatte ein Flüssigkeitstheilchen eine drehende, schwingende Bewegung erhalten und wiederholte sie nun nach Art des Pendels oder des auf- und niederhüpfenden Gummiballes immer schneller und in immer kleineren Bahnen, damit immer neue Wellen aus demselben Punkte erzeugend. Diese Schwingung des ersten Theilchens aber wurde von Theilchen zu Theilchen mitgetheilt, und so entstand die fortschreitende Welle. Wir haben also für unsern Vergleich in diesem fortschreitenden Anstoß, in dieser fortschreitenden Form die Wurfbewegung des Balles, in der kreisförmigen Schwingung des Wassertheilchens den elastischen Ball selbst zu suchen. Diese kreisförmige Schwingungsbahn also ist es, welche durch den Stoß der Wand eine Zusammendrückung erleidet und in der Rückkehr zu ihrer Form die Kraft für die neue Bewegung entfaltet. Wollen wir das eine Elasticitätserscheinung nennen, nun so ist unsre Vergleichung vollendet. In der That aber findet nur ein Ausweichen der beweglichen Wassertheilchen statt, welche, in ihrer Schwingung durch die Wand gehemmt und von den folgenden Theilchen gedrängt, nur nach oben einen Ausweg finden, und das Zurücksinken dieser Theilchen ist es, das den Anstoß zu neuen Schwingungen in der einzigen freien Richtung ertheilt und damit neue rückschreitende Wellen erzeugt. Wellenberg und Wellenthal werden gleichsam für einen Augenblick auf ihre halbe

Breite zusammengedrängt und in ihrer Höhe und Tiefe verdoppelt, bis sie durch einander hindurchgehen und für einen Augenblick die Oberfläche des Wassers ebnen. Dann erst schreitet die zurückgeworfene Welle in derselben Form fort, in welcher sie gekommen war, scheinbar unverändert, und nur der Wechsel ihrer Berge und Thäler, nur daß Berge jetzt dort schreiten, wo vorher Thäler waren, verräth den Kampf, von dem sie zurückkehrt.

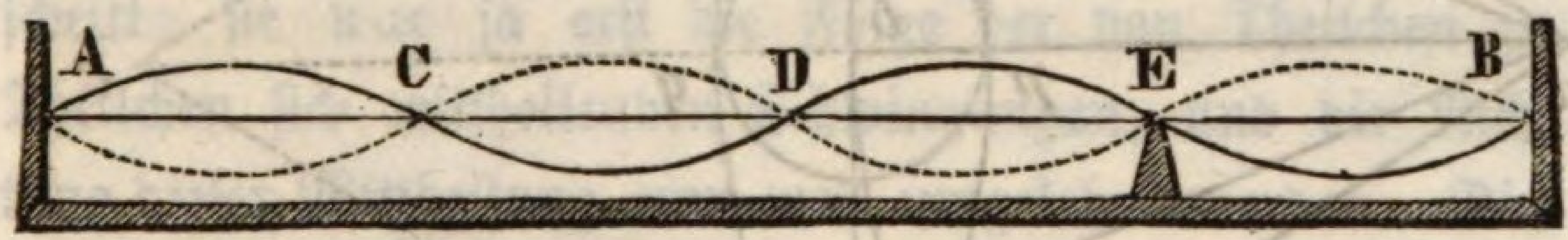
Aber während wir mit der Lösung unseres Gleichnisses beschäftigt waren, hat sich der Anblick der Wasserfläche völlig geändert. Vorhin noch sahen wir die Wellen in steter Hin- und Wiederkehr von einem Ufer des Grabens zum andern eilen; jetzt gewahren wir von einem solchen Fortschreiten nichts mehr, die ganze Oberfläche scheint nur noch in einer beständig auf- und niedergehenden Wallung begriffen. Wir sehen nicht mehr den Berg zum Thale fortschreiten, sondern jeder Berg versinkt gleichsam in sich selbst, und aus jedem Thale steigt ein Berg auf. Die flüchtige Wellenbewegung hat ein Gepräge der Ruhe, der Erstarrung angenommen. Sollte etwa in Folge dieser stets wiederholten Zurückwerfung, aus diesem beständigen Herüber und Hinüber sich dies Bild erzeugt haben? Allerdings mußten die zurückgeworfenen und die immer aufs Neue gegen das Ufer anrückenden Wellen einander begegnen. Traf nun der zurückgeworfene Wellenberg m im Punkte g auf



das fortschreitende Wellenthal n, oder ein zurückgeworfenes Wellenthal auf einen fortschreitenden Wellenberg, so mußten stets in dem Punkte k die entgegengesetzten Bewegungen der beiden Wellen einander aufheben, interferiren. An allen um eine halbe Wellenbreite davon entfernten Punkten geschah dann aber dasselbe, und zwischen ihnen lagerten sich abwechselnd bald Wellenberge bald Wellenthäler der fortschreitenden und zurückgeworfenen Wellen übereinander, so daß die ganze Wasserfläche den Anschein erhielt, als wäre sie in lauter einzelne für sich schwingende Abtheilungen zerlegt. Diese Erscheinung verdient in der That den Namen stehender Wellen, wie ihn die Wissenschaft ertheilt hat.

Wenn uns für den ersten Augenblick der Anblick stehender Wellen überraschen konnte, so geschah es eben nur, weil wir sie nicht gleich mit dem eben erkannten Wesen der Wellenbewegung zu vereinigen wußten. Neu an sich war uns die Erscheinung keineswegs. Schon als Kinder belustigten wir uns damit in Wassergefäßen durch regelmäßiges Schütteln oder Schlagen solche stehende Wellen zu erzeugen, und wenn wir einen gefüllten Eimer zu tragen hatten, verursachten uns manchmal diese Schwankungen des Wassers, die durch die gleichmäßigen Erschütterungen unsres Ganges hervorgerufen wurden, kleine Schrecken, wenn sie bei einem plötzlichen unvorsichtigen Stoße oder Stillstande das Wasser aus dem Eimer schleuderten. Aber besonders erinnern wir uns des Spieles mit dem gespannten Seile. Freilich kannten wir damals noch nicht das Gesetz für die Entstehung solcher

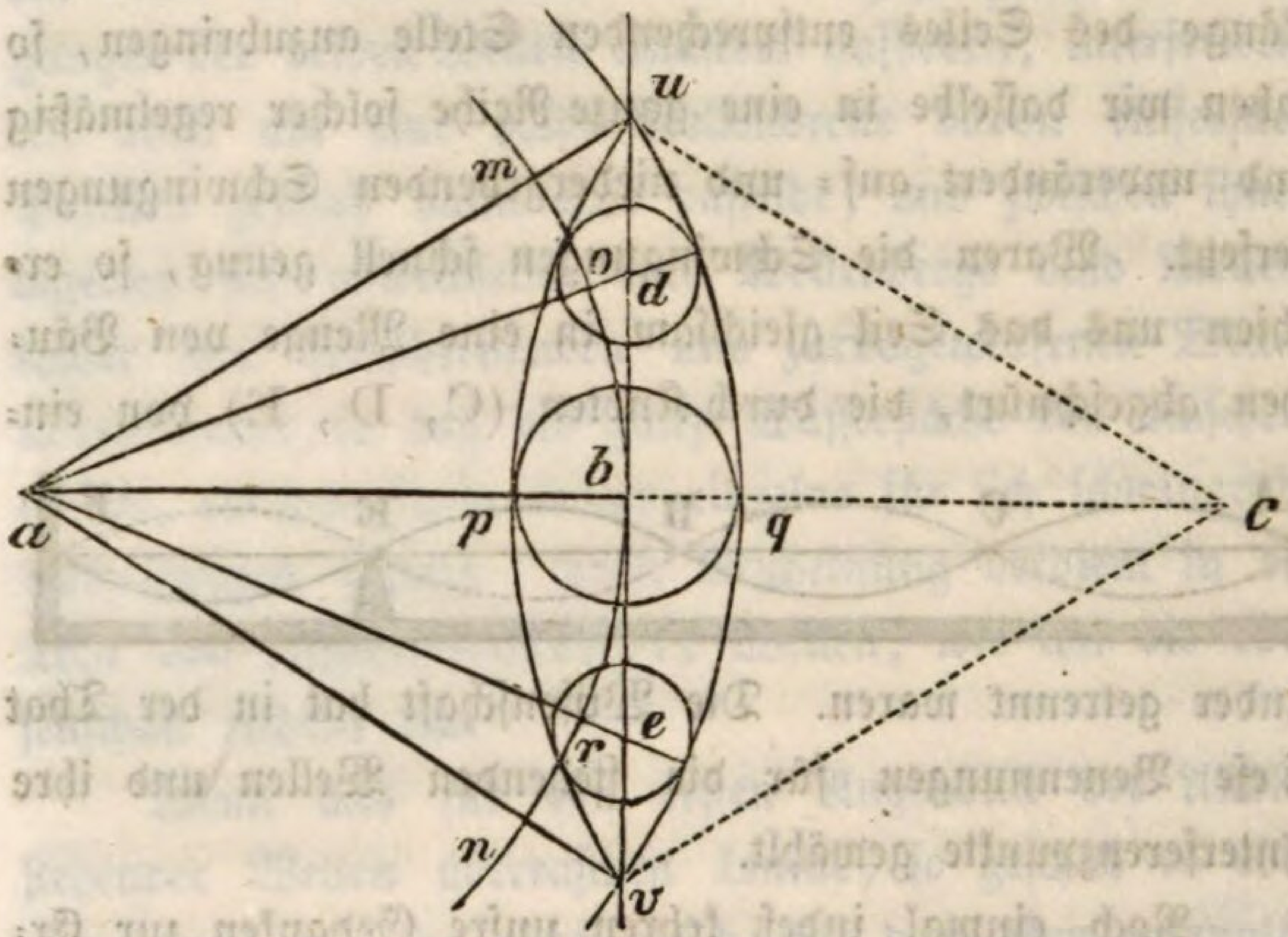
Schwingungen. Aber wenn es uns zufällig glückte, den Stoß, wodurch wir das Seil erschütterten, genau in einer bestimmten, dem Viertel, Sechstel oder Achtel der ganzen Länge des Seiles entsprechenden Stelle anzubringen, so sahen wir dasselbe in eine ganze Reihe solcher regelmäßig und unverändert auf- und niedergehenden Schwingungen versetzt. Waren die Schwingungen schnell genug, so erschien uns das Seil gleichsam in eine Menge von Bäuchen abgeschnürt, die durch Knoten (C, D, E) von ein-



ander getrennt waren. Die Wissenschaft hat in der That diese Benennungen für die stehenden Wellen und ihre Interferenzpunkte gewählt.

Noch einmal indeß kehren unsre Gedanken zur Erscheinung der zurückgeworfenen Wellen zurück, die in der Begegnung mit den fortschreitenden im Wasser und im Seile diese stehenden Schwingungen erregten. So vortrefflich es uns gelungen war, das Gleichniß eines von der Wand zurückprallenden Balles auf unsre Wellen anzuwenden, so vermissen wir doch zur Vollständigkeit das Erscheinen jenes Gesetzes, wonach der zurückgeworfene Körper stets unter demselben Winkel von der Wand zurückkehrt, unter welchem er sie getroffen hatte. Indessen die Wellen, welche wir vorhin beobachteten, waren lange, den Ufern parallele gewesen, die also senkrecht gegen die Uferwand stießen. Sie konnten also nichts Andres zeigen, als der senkrecht gegen den Boden prallende Gummiball. Wir erzeugen

aber nun durch einen Steinwurf in der Mitte des Grabens (a) kreisförmige Wellen. Der Wellenkreis mn



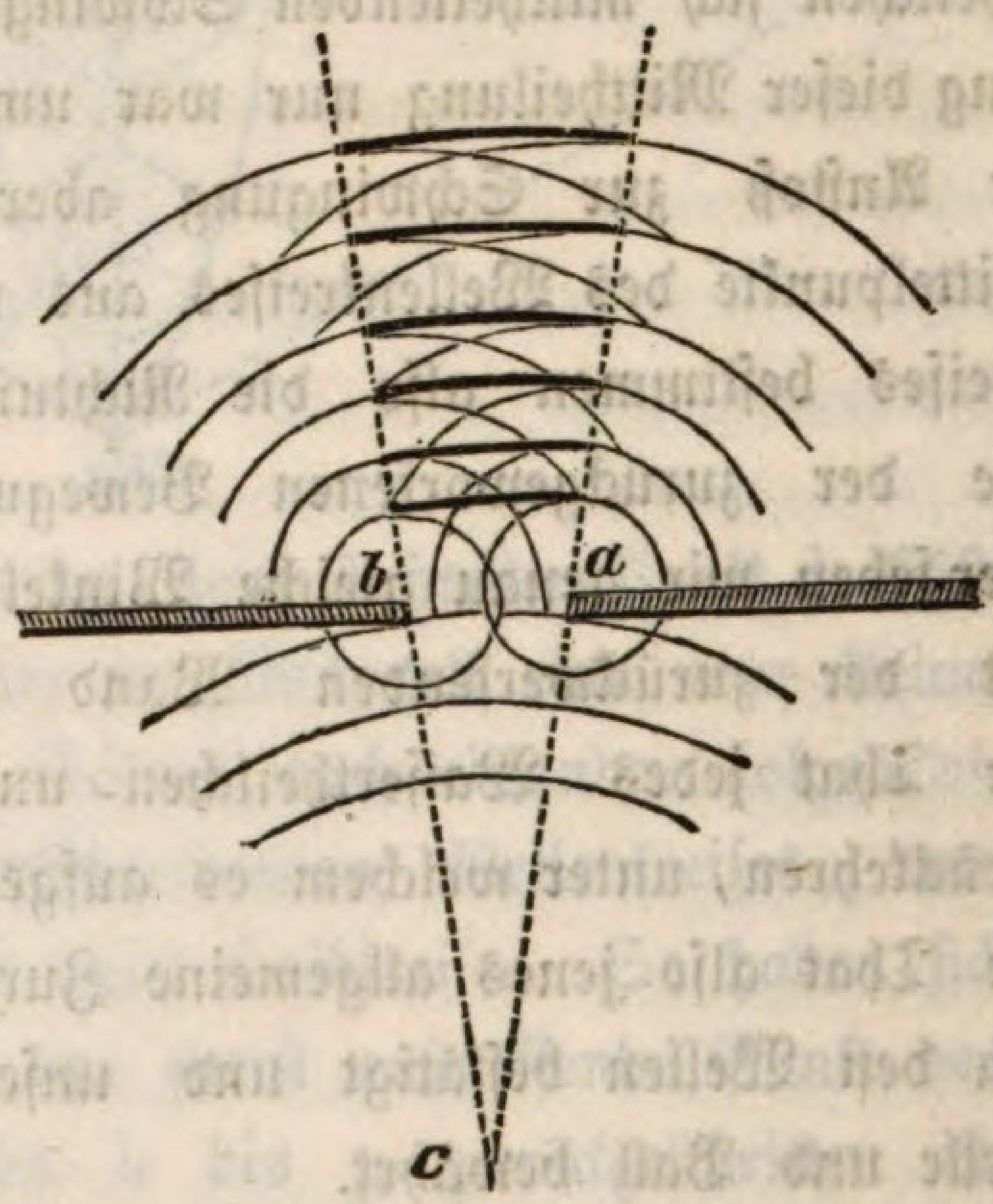
schreitet wieder dem Ufer zu, sein äußerster Punkt b stößt dagegen und erzeugt hier im Rückprall eine neue kleine, halbkreisförmige Welle. Schnell nach einander folgen die andern Punkte des fortschreitenden Wellenkreises, und jeder erzeugt im Anstoß neue Halbkreise. So haben sich in dem Augenblicke, wo der zuerst auftreffende Punkt des Wellenkreises bereits von b bis p zurückgeschritten ist, unzählige kleine, nach v und u hin immer kleiner werdende und verschwindende Halbkreise gebildet. Aus der Interferenz aller dieser kleinen Wellen geht nun die zurückgeworfene Welle upv hervor, welche die kleinen Halbkreise berühren muß und darum genau einer Welle uqv gleich ist, welche sich in ihrem ungehinderten Fortschreiten

jenseits der Wand uv hätte bilden müssen. Es scheint also gleichsam, als wäre nur der Ausgangspunkt der Welle verändert worden, als käme sie jetzt nicht mehr von a, sondern von einem ebenso weit jenseits der Wand liegenden Punkte c her.

Doch wir wollten nach der Richtung forschen, in welcher die Welle zurückgeworfen wurde. In der That war es ja aber eben so wenig jene kreisförmige Welle, welche zurückgeworfen wurde, als sie es war, welche fortschritt; sie war ja erst die Folge der von Theilchen zu Theilchen sich mittheilenden Schwingungen, und die Richtung dieser Mittheilung nur war umgekehrt worden. Dieser Anstoß zur Schwingung aber geschieht von dem Mittelpunkte des Wellenkreises aus und die Radien dieses Kreises bestimmen also die Richtung der fortschreitenden wie der zurückgeworfenen Bewegung. Diese Radien aber sehen wir genau gleiche Winkel (z. B. $a\hat{u}v = c\hat{u}v$) mit der zurückwerfenden Wand bilden, und so in der That jedes Wassertheilchen unter denselben Winkel zurückkehren, unter welchem es aufgetroffen war, somit in der That also jenes allgemeine Zurückwerfungsgesetz auch von den Wellen bestätigt und unser Gleichniß zwischen Welle und Ball bewährt.

Der Tummelplatz unsrer Wellen ist jetzt immer beschränkter geworden, der Graben ist weiterhin durch eine Bohlenwand geschlossen, und nur eine kleine Oeffnung gestattet dem Wasser den Eintritt in das enge Mühlengerinne, das es jetzt aufnehmen soll. Da das Gerinne geschützt ist, herrscht auch hier tiefe Ruhe und Stille. Nur für

einen Augenblick sehen wir das Wasser sich leicht kräuseln; ein Blättchen fiel hinein, und flüchtige, kleine Wellen schreiten zur Oeffnung fort und ungehindert durch diese hindurch in grader Linie mitten durch den Graben. Aber jetzt werfen wir einen Stein in das Gerinne, und sofort ändert sich das Schauspiel. Lange, hohe Wellen schreiten der Oeffnung zu und breiten sich jetzt von dieser aus kreisförmig auch zu den Seiten des Grabens aus. Ein Theil der Wellen schritt zwar ungestört hindurch, aber ein andrer stößt gegen die Kanten der Oeffnung a und b, wird hier zurückgeworfen und erregt neue Wellen, die sich auch nach Außen um die Wände der Oeffnung herum ausbreiten. Diese zur Seite gekehrten, gebeugten Wellen kreuzen sich in der Mitte mit den ruhig fortschreitenden und erzeugen durch Interferenz neue, höhere Wellen, die in ihrem Zusammenhange mit den gebeugten wieder das Ansehen kreisförmig fortschreitender Wellen annehmen. Daß jene kleinen, vom Fall des Blättchens erregten Wellen scheinbar ungehindert und gradeaus durch den Graben fortschritten, können wir uns nur daraus erklären, daß sie zu klein und schnell waren, um



Störungen zu erleiden, während die langen und großen Wellen, die der Stein erregte, zu langsam sich fortwälzten, um nicht rings um sich ihre Spuren zurückzulassen.

Unser Weg führt uns — und welcher Leser sollte ihn in seiner Heimath nicht wiederfinden? — jetzt einen kleinen Hügel hinauf, der sich hinter der Mühle erhebt und die ganze weite Landschaft beherrscht. Hier lassen wir uns nieder, um behaglich alle Eindrücke des reizlosen, und doch so anregenden Frühlingsbildes in uns aufzunehmen. Vor uns breitet sich der klare Spiegel des Sees aus, rechts begrenzt den Blick eine kleine Thalschlucht, von dem Bache durchflossen, welcher die Gewässer des Sees in die Ferne entführt, nachdem sie ihre Arbeit im Dienste des Menschen vollbracht haben; links schimmert das Grün der Saatfelder, die sich hinüberziehen bis zu den letzten Gärten der Vorstadt, die noch in winterlicher Nacktheit starren. Die Landschaft ist kahl und kalt, und doch ergreift sie uns tiefer, als im üppigen Schmucke des Sommers. Der Frühling ist so recht die Zeit für das Studium der Natur. Da ist die ganze Natur eine Frage, und wem diese Frage nicht im Herzen tausendfach wiederklingt, dem wird alle Fülle und Pracht des Sommers das Herz nicht zu öffnen und zu erwärmen vermögen! Wer der Keime und Knospen nicht achtet, der verdient nicht, daß Blüthen ihn schmücken und Früchte ihn laben!

In uns aber klang die Frage wieder, das Herz ging uns auf. Der Spiegel des Sees ward uns zu einem Zauberspiegel, der uns tief-innere Geheimnisse der Natur entgegenstrahlte. So eben wieder trübt sich

seine Fläche, um neue Bilder zu zaubern. Wolken sind über uns heraufgezogen, und ein einzelner Windstoß verkündet uns das Nahen eines jener dem Frühling eigenthümlichen, plötzlichen und schnell vorübergehenden Winde. Leise haucht er über den See hin, wie ein flüchtiger Schauer und kräuselt den Spiegel mit kleinen Wellen. Es scheint, als ob die Wasserfläche dem Stoße des Windes anfangs einen Widerstand zu leisten versuchte, wie eine einzige zusammenhängende Decke, welche die Tiefen schützt. In der That ist es die Spannung der obern Wassertheilchen, die auf ihrer gegenseitigen Anziehung beruht, und die wie mit einer gespannten dünnen Haut die ganze Fläche schützend überzieht. Wir sehen den Beweis in jener kleinen Bucht, wo wieder, wie vorhin, unter der dünnen Schicht von Entengries die Wasserfläche fast unbewegt bleibt. Die dichtgedrängten kleinen Pflänzchen sind es, die hier der aufwühlenden Wirkung des Luftstoßes entgegentreten und die freie Bewegung der Wassertheilchen hemmen. Wir haben ja Aehnliches oft beobachtet, wenn kleine Eisstückchen oder Schneeflocken eine Wasserfläche bedeckten, und selbst die niederprasselnden Regentropfen sahen wir sturmbewegte Wellen dämpfen. Aehnliche Bewandniß mag es auch mit der wogenstillenden Kraft haben, welche man dem Oele zuschreibt, obgleich der Volksglaube diesen Einfluß oft bis zum Wunderbaren übertreiben mag. Daß Schiffe sich mitten in der furchtbarsten Brandung durch Ausgießen einer geringen Menge Oeles retteten, gehört wohl nur in den Bereich der Seemannssagen. Daß aber viele Fischer sich dieses Mittels

mit Erfolg bedienen, um die Wellen zu besänftigen, weil das ruhige Wasser durchsichtiger ist, darf uns als unzweifelhafte Thatsache gelten.

Aber der Widerstand der Wasserfläche ist jetzt gebrochen, neue Windstöße folgten dem ersten, und grade die Kräuselung der Fläche erleichterte ihren Angriff. Der ganze See verwandelt sich allmälig in ein wildes Wellengewirr. Und doch gestaltet sich selbst dieses Gewirr in der Ferne zu einer schönen Harmonie; deutlich unterscheiden wir noch die zahlreichen großen und kleinen Wellenzüge, von denen die Fläche durchschnitten wird. Aber der Anblick ist doch ein ganz andrer geworden, als vorher selbst beim ärgsten Wellengetümmel, das wir durch unsre Steinwürfe erregten. Mag auch manche Täuschung dabei im Spiele sein, mag es auch nur scheinen, als ob die Welle, wo sie von der andern durchkreuzt wird, unter den Wasserspiegel versinke, mag es auch nur scheinen, als ob die großen Wellen unter einer ruhenden gekräuselten Oberfläche hinrollten, während doch in Wirklichkeit nur die höheren Wellen schneller vorwärts schreiten und die kleinen Kräuselwellen nur hinter den größeren zurückbleiben; es sind doch auch wirkliche Veränderungen in der Wellenform vorgegangen. Die Wellen haben nicht mehr die schöne, gleichmäßige Rundung, wodurch sie vorher dem Auge so wohlthaten; ein Charakter der Zerrissenheit und Rauhheit ist es, der sie jetzt auszeichnet. Steil stürzen ihre Gipfel vornüber von weißen Schaumkämmen gekrönt. Die Wirkung der fortdauernden und stets erneuten Windstöße ist es, welche die Wellenköpfe vorwärts treibt, daß

sie in einzelnen schäumenden Massen überschlagen. Aber es ist in der That auch nicht mehr die bloße äußere Form verwandelt, — denn die Welle ist ja nur der Ausdruck und das Erzeugniß einer innern Bewegung, — auch diese innere Bewegung ist selbst eine andre geworden. Die einzelnen Wassertheilchen beschreiben nicht mehr jene regelmäßigen, in sich geschlossenen kreisförmigen oder elliptischen Bahnen; die stets erneuten Stöße hindern sie daran und treiben sie vorwärts, ehe sie, dem Zuge der Schwere gehorsam, ihre Bahnen vollenden können. So entstehen jene schleifenartig sich langsam fortziehenden Bahnen, deren Anfänge wir in Fig. 2. S. 8 dargestellt sahen. Es sind dieselben Bahnen, welche auch die Wellentheilchen fließenden Wassers beschreiben müssen, da die fließende Bewegung in ähnlicher Weise, wie die sich erneuenden Windstöße, wirken muß. Darum sehen wir auch auf Flüssen und Strömen ähnliche, vornüber- oder zurückgebeugte Wellen, je nachdem der Wind in der Richtung des Stromes oder ihr entgegen wirkt.

Das wilde Schauspiel vor uns führt unsre Phantasie in die Ferne auf den weiten wogenden Ocean. Es ist nicht mehr jene einzige große Welle, welche, von der Schwere des Mondes alltäglich rings um die Erde getragen, in sanfter Wölbung die stille Fläche des Meeres hebt, es ist auch nicht bloß eine jener Strömungen, welche in Folge des Ausgleichungsbestrebens der verschieden erwärmten Wassermassen wie Flüsse den ruhigen Spiegel durchschneiden; ein gewaltiger Sturm hat das Meer in seinen innersten Tiefen aufgewühlt. Lange, haushohe Wellen

rollen einher; denn weithin vermochte der Sturm die fliehende Welle zu verfolgen und in immer wiederholten Stößen mit wachsender Gewalt sie zu schwellen, und tief hinab beschränkte kein Hemmniß die freie Bewegung der Theilchen. Majestätisch ist das Schauspiel, das diese Wellen des freien Oceans gewähren, gegenüber den kurzen gebrochenen Wellen eines Binnenmeeres, dessen seichter Grund den Stoß der Wellen bricht und in ihrer freien Bewegung hemmt. In Sturmeseile stürzen sie dahin, das segellose Schiff scheint rettungslos ihrer Gewalt preisgegeben. Aber gleich jenem Blättchen auf dem See schwankt das Schiff nur auf und nieder von Berg zu Thal, und machtlos rauschen die Wellen unter seinem Kiele fort. Auch die Flucht der gewaltigen Meereswellen ist nur Schein. Aber dieser Schein, diese Wellenform fliegt dem Sturme voran, 2—3 mal so schnell als dieser, rollt sie 20 bis 30 Seemeilen jede Stunde über den Ocean fort.

Die Scene verwandelt sich jetzt. Den Sturmwind überflügelnd, hat sich die Welle einem felsigen Gestade genaht. Sie hebt sich über dem seichten Klippengrunde und bäumt sich vorn steil in die Höhe. In ihrem Laufe gehemmt, wird sie von der nachfolgenden erreicht, die Wellen stürzen übereinander und thürmen sich zu einer furchtbaren Wand empor. Meilenweit hört man das Brausen der Brandung, und wehe dem Schiffe, das in die Gewalt dieser wild sich brechenden Wogen geräth; es wird umgestürzt und versenkt oder an den Felsen zerschellt. Denn furchtbar groß ist die Gewalt der zusam-

mengedrängten Wassermassen, die oft über 100 Fuß an den steilen Felsenküsten emporgeschleudert werden. Kaum vermögen wir uns eine Vorstellung zu schaffen von der Riesenkraft, die in einer Welle des Oceans schlummert. 40 bis 50 Fuß steigt der Wellenberg über dem Thale auf, und auf 800 bis 1000 Fuß dehnt sich diese Wölbung in die Breite. Und diese gewaltige Wassermasse, die mit einem Drucke von 10000 Ctrn. auf jeden Fuß ihres Widerstandes wirkt, ist in Bewegung und in einer so pfeilschnellen Bewegung, daß der Sturm hinter ihr zurückbleibt! Wohl mag unter einer solchen Gewalt auch das festeste Schiff in allen seinen Fugen knarren und krachen! Wohl mag die über das Verdeck hinstürzende Welle Menschen erschlagen und Planken und Steuerrad und Masten zerschmettern! Wohl mag das tobende Meer in seinem Grunde wühlen und 40 Centner schwere Felsblöcke, wie die Travellers an Schottlands Küsten, weit in das Land hinein schleudern!

Endlich schweigt der Sturm. Aber das Meer wogt fort, und tagelang noch schwingen die Wasser auf und nieder. Die Wellen kreuzen einander, und furchtbare Berge tauchen plötzlich aus der wild und regellos schaukelnden Fluth auf. Das ist das Bild der hohlen See nach dem Sturme, ein angstvolles Bild für den Seemann!

Die Phantasie kehrt zur Wirklichkeit zurück, von den furchtbar-prächtigen Bildern zu dem kleinen Zauberspiegel des Sees, der sie hervorrief. Der Wind hat sich gelegt, der See beruhigt sich. Das Plätschern der Wellen ver-

stummt, die letzte Welle schleicht sterbend zum Ufer. Aber in ihrem letzten Hauche flüstert diese Welle uns noch einen Gedanken zu, der uns ein neues, weites Reich der Erscheinungen erschließt. „Seht in der Welle, flüstert sie, das Bild alles Lebens und Bewegens, nicht das Sinnbild, wie Eure Dichter meinen; nein, in nüchternster Wirklichkeit ist die ganze Welt ein wogender Ocean, und Wellen rollen durch den Himmelsraum, wie durch die unsichtbaren Atome Eurer festen Stoffe!"

Zweites Kapitel.

Schallwellen.

Die ganze Welt ein wogender Ocean! Welch großartiges Bild des Lebens, und doch welch schwindelnder Gedanke! Nirgends Ruhe, rings um uns und in uns Bewegung, wirbelnde, schwingende Bewegung, wie auf dem tobenden, sturmbewegten Meere! Jene ruhige Landschaft vor uns nur Schein, nur das augenblickliche Erzeugniß, die augenblicklich weilende Form zahlloser Wellen!

Als dort unten auf dem Spiegel des Sees das wilde Wellengetümmel sich erhob, da drang sein Rauschen zu uns herauf, wir hörten den Schlag der Wellen, wie wir ihre Formen sahen. Was war es, das jene Bewegung uns in der Ferne vermittelte? Sollte es eine andre Bewegung gewesen sein, die von jenen Wellen ausging und sich unsern Sinnen mittheilte, sollte, jenem Wellengetümmel dort unten gleich, sich ein andres Wellen-

getümmel in unserm Ohr, in unserm Auge erhoben haben? Wie wird dies Räthsel sich lösen?

Wenn wir durch das Wasser wateten, da regten wir es auf, wir sahen die Wirkung unsrer Bewegung an den Wellen des Wassers. Jetzt, da wir durch die Luft gehen, sehen wir von einer solchen Bewegung nichts. Wenn wir mit unserm Stocke auf das Wasser schlugen, schäumte es in Wellen auf, wenn wir damit gegen den Stein am Boden schlugen, flog er davon; aber der Baum, der Fels, die Mauer, die der Stock trifft, sie rühren sich nicht. So wäre hier der Stoß ohne Wirkung geblieben, so gäbe es eine Kraft, die keine Bewegung hervorriefe! Aber wo eine Kraft ist, muß Bewegung sein; denn das Wesen der Kraft ist Bewegung. Wo also diese Bewegung nicht äußerlich sichtbar, meßbar wird, da müssen wir sie nur innen suchen. Wir wollen also erst die Wirkung des Stoßes genauer erkunden.

Alle Ruhe in der Natur, das wissen wir wohl, ist nur eine scheinbare, eine bedingte, bedingt durch das Gleichgewicht streitender Kräfte. Jeder Körper bleibt nur derselbe, so lange die Bedingungen seines Zustandes dieselben bleiben. Der Ball in der einen, der Stock in der andern Hand bleiben in ihren Formen, so lange die Kräfte, welche sie erhalten, unverändert bleiben. Drücke ich sie aber, so tritt eine innere Bewegung ihrer Theile ein, der Ball wird zusammengedrückt, der Stock gebogen. Sobald der Druck aufhört, kehren beide freilich in ihren früheren Zustand zurück; denn die Bedingungen, die jenen erzeugten, sind eben wieder dieselben geworden. Das ist

es, was wir mit dem Namen der Elasticität bezeichneten. Freilich wird es eine Grenze geben, wenn die drückende Kraft zu groß wird und den Zusammenhang der Theile stört, sie bleibend verschiebt und so eine bleibende Formveränderung bewirkt. Aber jedenfalls werden wir uns jeden Körper ebenso gut als vollkommen elastisch, wie als vollkommen unelastisch denken können, natürlich im Verhältniß der Kraft, welche auf ihn einwirkt, weil für jeden Körper eine hinlänglich kleine Kraft gefunden werden muß, welche die Grenze der Verschiebbarkeit seiner Theile nicht überschreitet, und eine hinlänglich große, welche ihm eine völlig veränderte Form ertheilt.

Ein Stoß ist nun nichts andres, als eine Störung des umgebenden Gleichgewichts, ein einseitig überwiegender Druck auf den ruhenden Körper. Der Körper erleidet also auf der einen Seite eine Zusammendrückung und dehnt sich dagegen auf der Seite des schwächeren Druckes aus, und durch dieses beständige Drängen nach der einen Seite hin entsteht eine Ortsveränderung, eine Bewegung. Damit ist aber die Erscheinung des fortgeschleuderten Steines, des von der Wand zurückprallenden Balles noch nicht vollkommen erklärt. Die Bewegung ist durchaus noch nicht eine so unmittelbare Folge des Stoßes. Wie jede Wirkung einer Kraft, so bedarf auch der Stoß einer gewissen Zeit, um sich dem ganzen Körper mitzutheilen. Am augenscheinlichsten überzeugten wir uns davon an dem gespannten Seile, wenn wir von oben her einen Schlag darauf führten. Wir sahen deutlich, wie der Stoß in Form einer Welle das Seil durchlief,

indem er von einem Theile desselben dem andern sich mittheilte. Wie klein, wie völlig unmerklich für uns auch diese Zeit sein mag, in welcher der Stoß sich durch einen Körper vertheilt, immerhin kann sie eine ganze Reihe von Bewegungserscheinungen umfassen.

Es ist eine Eigenthümlichkeit jeder Forschung, daß sie auf den ersten Blick die bisher für einfach gehaltene Erscheinung zu verwirren und zu verwickeln statt aufzuklären scheint. Schwache Menschen lassen sich darum leicht durch diesen Erfolg von größerer Forschung abschrecken; die einfache Vorstellung ist ihnen lieber. Aber das tiefere Eindringen enthüllt die wahre Einfachheit der Natur, die sich nicht in dem Einzelnen, sondern in der Allgemeinheit, in dem Gesetze zeigt. Die bisher vereinzelte Erscheinung stellt sich als das Urbild vieler tausend bisher für ebenso vereinzelt gehaltener Erscheinungen dar. Diese Aussicht muß uns reizen, die zahllosen Bewegungen, in welche sich uns soeben der einfache Stoß auflöste, zu verfolgen.

Der Schlag unseres Stockes, welcher den Stein oder Ball trifft und scheinbar augenblicklich forttreibt, sucht zunächst an der Berührungsfläche durch den gesteigerten Druck einige Theile in das Innere des getroffenen Körpers hineinzudrücken. Die dadurch bewirkte plötzliche Verdichtung erstreckt sich wachsend bis auf eine gewisse Tiefe des Körpers und geht allmälig abnehmend in den gewöhnlichen Zustand des Körpers über. Solche Verdichtung aber kann nicht unbeweglich an dem Orte bleiben, an welchem sie hervorgebracht wurde; das sahen wir

schon an den fortschreitenden Wellen des gespannten Seiles, wenn wir es durch einen Stoß in schwingende Bewegung versetzten. Das Streben der gedrückten Theile nach Ausgleichung wirkt drückend auf die benachbarten und pflanzt so die Verdichtung durch den ganzen Körper fort. Hat diese nun den ganzen Körper durchlaufen, so zeigt sich, daß sie ihn um ebenso viel ausgedehnt hat, als er durch den Stoß zusammengedrückt war. Aber diese Ausdehnung konnte nur nach einer Richtung hin erfolgen, weil ihr nach der andern der stoßende Körper Widerstand leistete. So hat sich der Körper in der That fortbewegt. Aber die innere Bewegung ist damit noch nicht zu Ende. Jede Störung des Gleichgewichts zweier Kräfte bringt ein Schwanken um eine Gleichgewichtslage hervor. Sie erweckt Kräfte, welche, sobald die störende Kraft aufgehört hat zu wirken, die verrückten Theile in ihre Ruhelage zurückzuführen streben. Diese ertheilen ihnen also eine rückgängige Bewegung mit einer Geschwindigkeit, die stetig wachsend sie über ihre Gleichgewichtslage hinausführt und eine Verrückung derselben nach der andern Seite hervorbringt. Sobald die verrückten Theile aber ihre Gleichgewichtslage wieder überschritten haben, so widersetzen sich dieselben Kräfte ihrer weitern Bewegung, vernichten sie endlich und zwingen dieselben verrückten Theile wieder eine rückgängige Bewegung zu ihrer Gleichgewichtslage anzutreten, über die sie wieder hinausgeführt, wieder verrückt werden, um von Neuem in eine rückgängige Bewegung überzugehen. So entsteht ein andauerndes Schwanken um einen Gleichgewichtspunkt, ein Vibri-

ren, ein Schwingen, und — wollen wir nicht den Namen, den wir bereits für die Schwingungen des Wassers einführten, auch hier, ohne die dem Auge sichtbar gemachte Form, gebrauchen? — es entstehen Wellen.

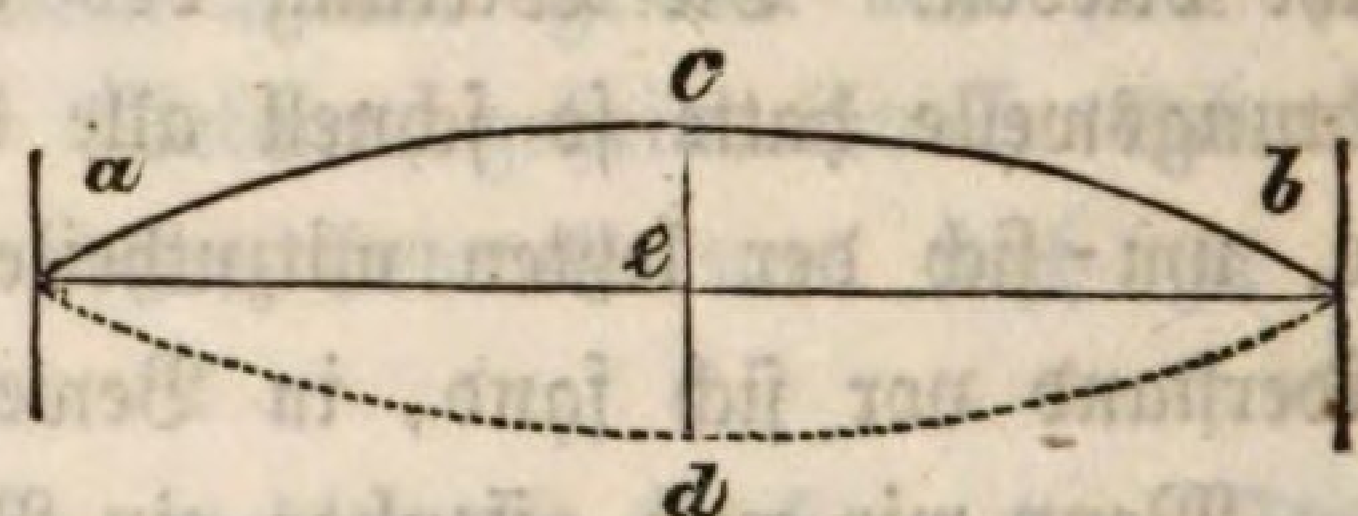
Unsere Ahnung scheint sich zu erfüllen, die flüsternde Wasserwelle hatte uns nicht getäuscht. Wenn jeder Stoß Schwingungen, Wellen erzeugt, dann ist in der That die ganze Welt ein wogender Ocean, dann ist der geworfene Stein, der Windeshauch, der Vogelgesang Zeuge verborgener Wellen für uns; dann gleicht in der That das Bild des zurückgeworfenen Balles genau den vom Ufer zurückeilenden Wellen. Welches geheimnißvolle Leben in der Natur verspricht dieser Gedanke uns noch zu enthüllen!

Die Schwingungen, welche der Stoß in dem Steine oder Balle hervorrief, die abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen, welche wir Wellen nannten oder zum Unterschiede von den durch ihre Erhöhungen und Vertiefungen jene schöne Form erzeugenden Wasserwellen Verdichtungswellen nennen können, diese Wellen sind es, welche in ihrem Fortschreiten dem gestoßenen Steine seine Fortbewegung geben. Von jenem Punkte, in welchem der Stoß geschah und der Widerstand des stoßenden Körpers fortwirkte, geht eine Welle nach der andern aus, strömt die ganze Masse des Körpers in der Richtung des Stoßes fort; jede neue Schwingung hat eine neue Verrückung des ganzen Körpers zur Folge, und so schnell folgen die Verrückungen einander, daß sie für die Wahrnehmung sich in eine einzige stetige Bewegung zusammen-

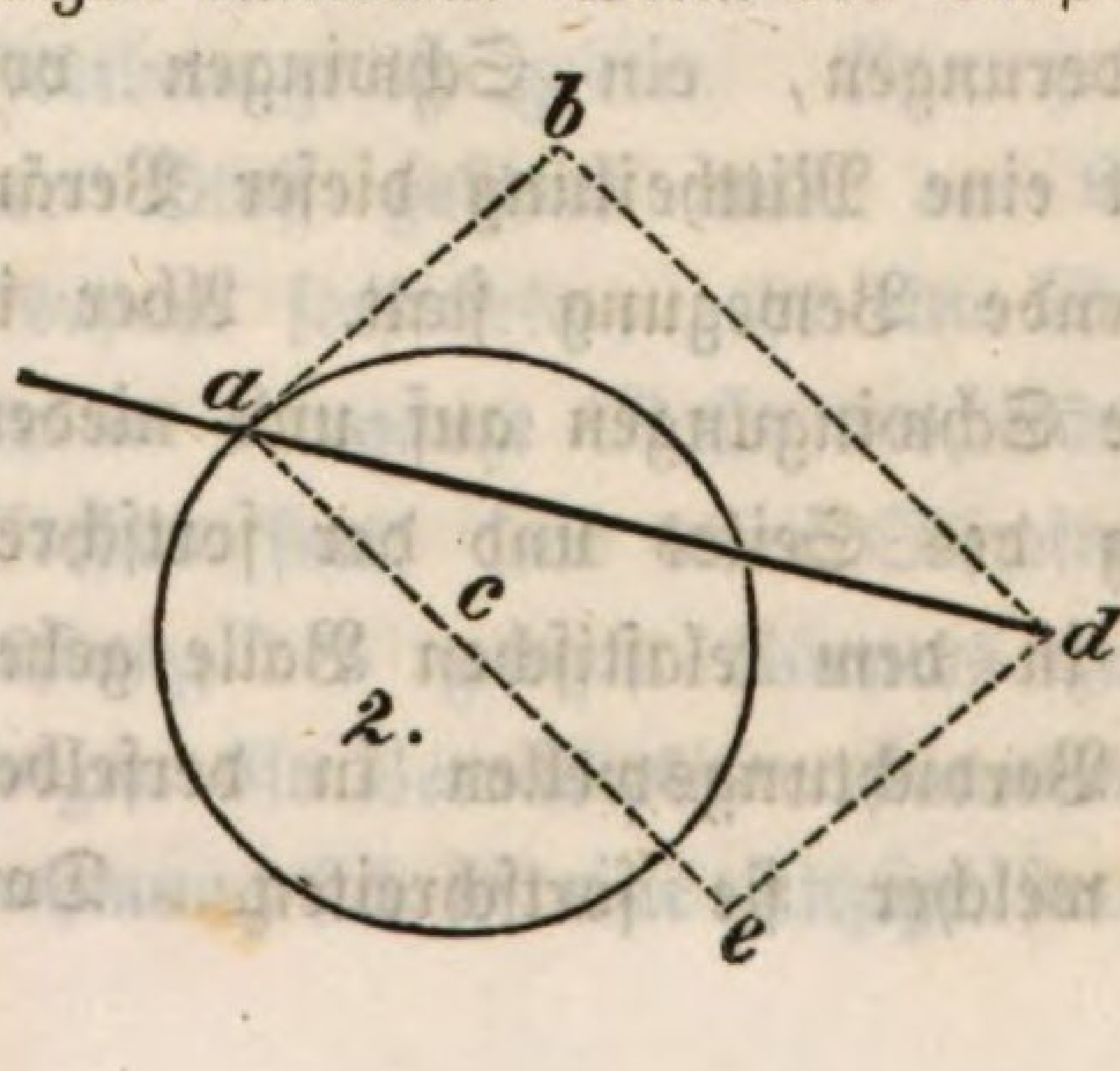
setzen. Die Richtung der Wellen also ist es, welche die Richtung des gestoßenen Körpers bestimmt, und seine Bewegung ist, wie die Welle des Wassers, nur die erscheinende Form der verborgenen und durch Mittheilung fortschreitenden innern Bewegung. Wie schnell diese Mittheilung erfolgt, davon haben wir uns oft überzeugt, wenn wir von mehreren in einer Reihe neben einander liegenden Kugeln die erste anstießen. Augenblicklich setzte sich die letzte in Bewegung, als hätte sie unmittelbar den Stoß erhalten, während alle übrigen Kugeln in völliger Ruhe blieben. Die Wirkung des Stoßes also, die Verdichtungswelle hatte so schnell alle diese Kugeln durchlaufen, um sich der letzten mitzutheilen und sie, die keinen Widerstand vor sich fand, in Bewegung zu setzen.

Wenn wir auch offenbar ein Recht hatten, die wechselnden Verdichtungen und Verdünnungen, welche der Stoß in elastischen Körpern bewirkt, mit demselben Namen, wie die auf- und niederschwankenden Biegungen des gespannten Seiles zu belegen, so dürfen wir doch nicht den Unterschied verkennen, der zwischen beiden Wellenbewegungen besteht. Hier wie dort allerdings findet ein Wechsel von Veränderungen, ein Schwingen von Theilchen, hier wie dort eine Mittheilung dieser Veränderungen, eine fortschreitende Bewegung statt. Aber in dem Seile geschahen diese Schwingungen auf und nieder, quer gegen die Richtung des Seiles und der fortschreitenden Bewegung; hier in dem elastischen Balle gehen die Schwingungen der Verdichtungswellen in derselben Richtung vor sich, in welcher sie fortschreiten. Dort

schwingen die Theilchen auf und nieder, hier hin und her. Wir werden diese Unterschiede am besten bezeichnen, wenn wir die Schwingungen des Seiles Querschwingungen, die des gestoßenen elastischen Körpers Längsschwingungen nennen. Freilich trennt die Natur nicht so, wie wir es damit zu thun scheinen. Auch die Biegungen des Seiles, welche die Querschwingungen seiner Theilchen veranlassen, können nicht ganz ohne gleichzeitige Ausdehnungen und Zusammenziehungen des Seiles erfolgen. Das schwingende Seil (acb) ist offenbar länger als das in seiner Ruhelage (aeb). Es müssen also gleichzeitig mit den Biegungen abwechselnde Entfernungen und Annäherungen



der Theilchen, gleichzeitig mit den Querschwingungen des Seiles auch Längsschwingungen seiner Theilchen stattfinden. Aber auch in dem gestoßenen Balle konnten neben den Längsschwingungen der Verdichtungswellen Querschwingungen eintreten. Wenn der Stoß (ad), welcher die Schwingungen erregte, ein schiefer, nicht gegen den Schwerpunkt des Balles gerichteter war, so zerlegte sich seine Wirkung in einen doppelten Stoß, in einen gegen den Schwerpunkt ge-



richteten (ae), welcher die Verdichtungswellen und damit die fortschreitende Bewegung des Balles in der Richtung ae bewirkt, und in einen darauf senkrechten (ab), welcher ebenso abwechselnde Biegungen des Balles quer gegen die Richtung der Fortbewegung, also Querschwingungen hervorrufen muß. In Folge dieser Querschwingungen sehen wir den Ball eine rotirende, drehende Bewegung annehmen, ähnlich der rotirenden Bewegung der Theilchen der Wasserwelle, nur hier vom ganzen Körper ausgeführt, wegen des innigen Zusammenhangs seiner Theile. Jedes Theilchen des drehend fortfliegenden Balles beschreibt in der That dieselbe Wellenform, welche die Summe der sämmtlichen schwingenden Wassertheilchen in jedem Augenblicke erzeugte.

Während also Längsschwingungen sowohl als Querschwingungen, wenn sie für sich getrennt stattfinden, nur gradlinige Bewegungen ihrer Theilchen gestatten, bringen sie vereint kreisförmige oder elliptische Bahnen hervor. Auch die Theilchen des Seiles schwingen der kleinen Längsschwingungen wegen genau genommen in schmalen elliptischen Bahnen. Mit der wogenden Wasserfläche hat es seine eigenthümliche Bewandtniß. So sehr ihre Wellen schon dem äußern Scheine nach den Wellen des Seiles gleichen, so finden doch jene kleinen Verdichtungen, wie sie die Biegungen des Seiles erforderten, hier bei dem außerordentlichen Widerstande, den das Wasser jedem Verdichtungsversuche entgegensetzt, kaum statt. Für diese Verdichtungswellen und Längsschwingungen tritt aber hier die leichte Verschiebbarkeit der Wassertheilchen ein, die im

Verein mit den durch den Stoß erregten Querschwingungen jene kreisförmigen Bahnen der Wellentheilchen erzeugen, die wir neulich beobachteten.

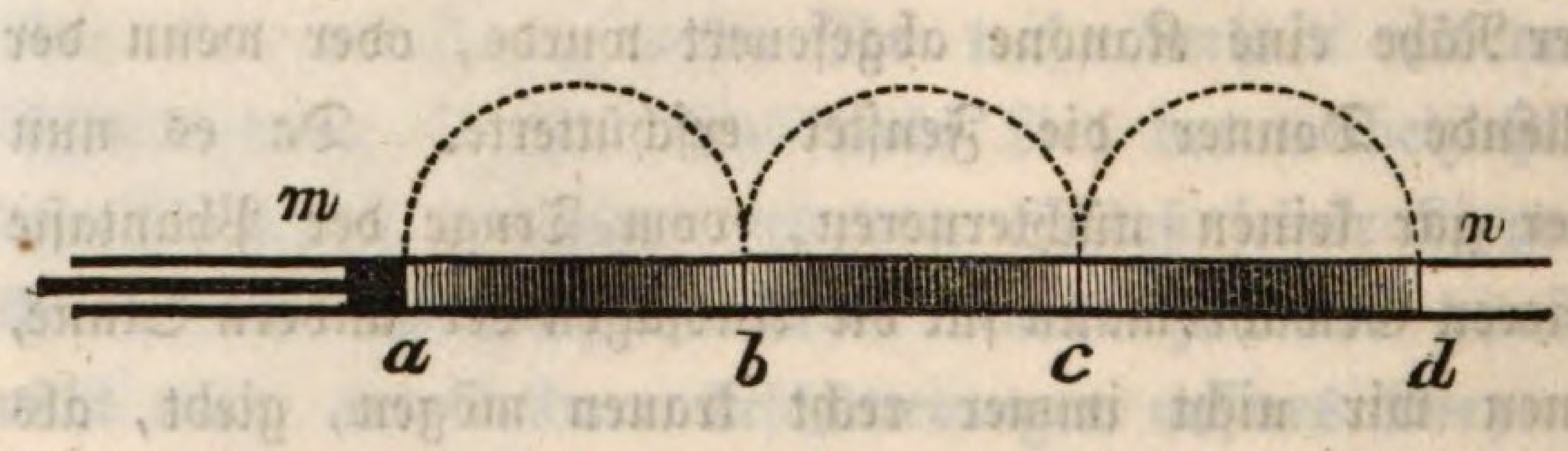
Jeder Stoß regt eine Reihe wechselnder Bewegungen, Biegungen, Verdichtungen, Schwingungen an, jeder Stoß erzeugt Wellen. Das ist im Wesen der Materie begründet, in dem, was wir bald ihre Elasticität, bald ihr Streben nach Gleichgewicht, bald ihre Trägheit nannten. Unabsehbar ist die Kette der Wirkungen, die von dem ersten Stoße ausgehen. Wie der vom Schlage der Hand getroffene Ball die Zweige des Baumes streifend erschüttert, und wie die abgerissenen Blätter wieder Wellen in dem vorüberrieselnden Bache erregen, so geht auch von der Welle des Sees ein weiteres, geheimes, aber nicht unempfundenes Wirken aus. Die Welle des Sees verrann, und mit ihr erstarb das leise Plätschern, das zu uns heraufdrang. Der zitternde Glockenklang, der noch eben aus der Ferne unser Ohr traf, verhallt mit dem Schwunge der Glocke. Das frohe Lied des vorbeiziehenden Wandrers verstummt mit dem Schluß seiner Lippen. Es waren Bewegungen, deren Kunde zu uns drang, nicht durch unmittelbare Erschütterungen unseres Körpers, nicht durch sichtbare Ortsveränderungen; durch das Gehör nur kam uns die Kunde. Wir hören die fernen Bewegungen. In unserm Ohr also müssen durch sie gewisse Veränderungen, Bewegungen bewirkt worden sein, die unser Gedanke uns als von jenen ausgehend, durch jene bedingt empfinden läßt. Wir hören also nicht eigentlich jene Bewegungen selbst, sondern nur ihre Wirkungen. Es sind

neue, mit jenen harmonirende Schwingungen, Wellen, die in unserm Ohre rauschen und wogen. Wie aber konnten diese Wellen anders in unserm Ohre entstehen, als durch Wellen, die sich vorher von den Schwingungen des Wassers, der Glocke, des Mundes zu dem Ohre fortpflanzten und, an seine zarten Nervenhäute, wie an elastische Uferwände, schlagend, ihnen ähnliche Schwingungen mittheilten? Die Luft aber nur konnte der Träger sein, welcher jene Wellen zu uns geleitete, in einen wogenden Ocean mußte auch sie verwandelt sein durch die Wogen des Sees, durch die Schwingungen der Glocke oder der singenden Kehle.

Daß die Luft wirklich an den Bebungen tönender Körper theilnimmt, davon konnten wir uns freilich schon durch das Auge überzeugen, wenn wir auf das Hüpfen des Staubes auf dem Resonanzboden eines Klaviers achteten, das konnten wir aber selbst fühlen, wenn in unsrer Nähe eine Kanone abgefeuert wurde, oder wenn der rollende Donner die Fenster erschütterte. Da es nun aber gar keinen nüchterneren, vom Truge der Phantasie freieren Gewährsmann für die Aussagen der andern Sinne, denen wir nicht immer recht trauen mögen, giebt, als den Gefühlssinn, so dürfen wir wohl nicht länger zweifeln, daß der Schall wirklich in Erzitterungen der Luft, in Luftwellen besteht, die im Stande sind, in unserm Ohr ähnliche Wellen, Tonempfindungen anzuregen. Wie aber sollen wir uns diese Wellenbewegungen in der Luft denken, da wir sie selbst nicht sehen, nur ihre Wirkungen empfinden, da überdies von Erhöhungen und Vertiefungen,

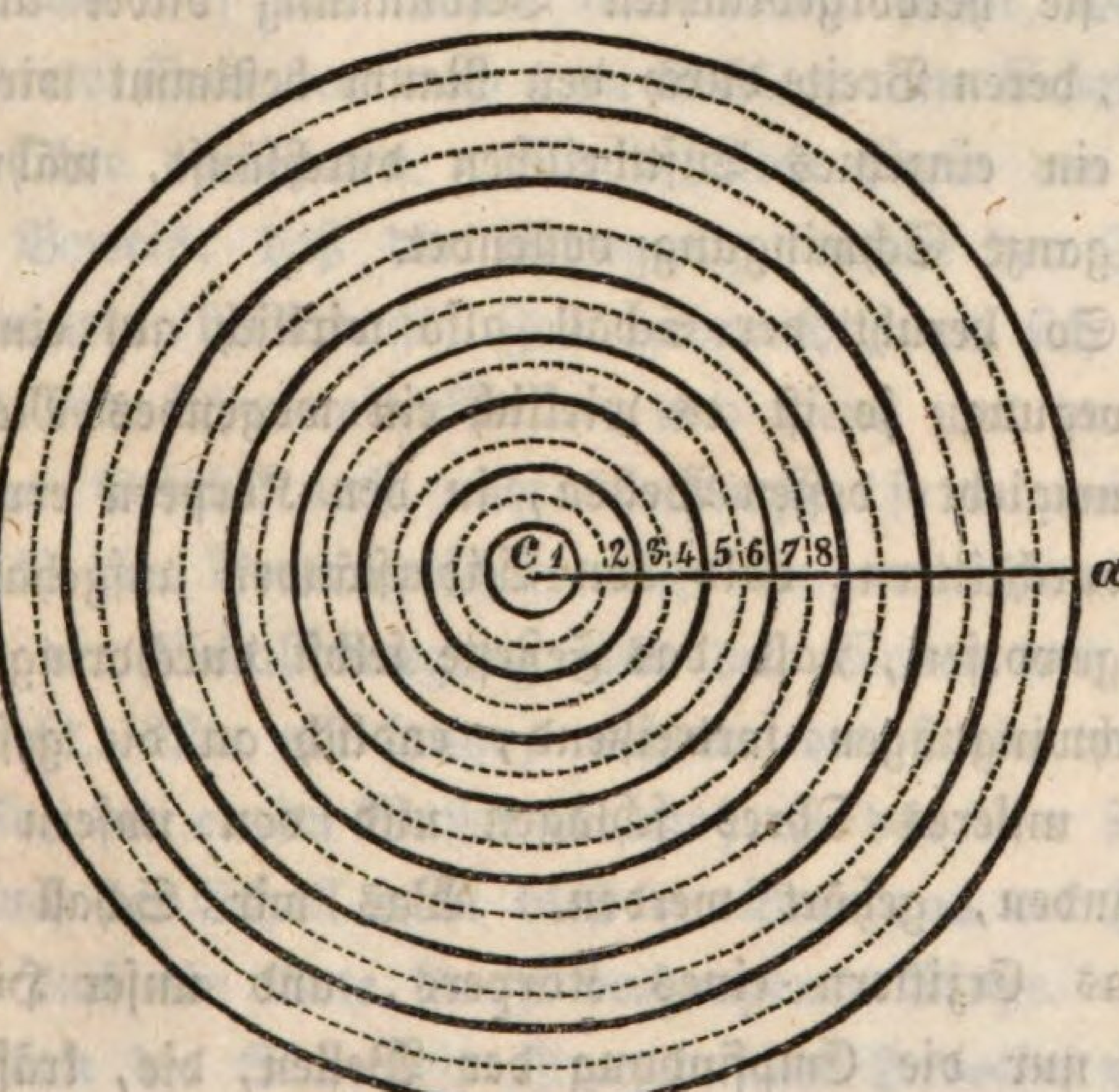
von Wellenformen also in diesem rings unbegrenzten Luftmeere nicht die Rede sein kann?

Wir kehren zu dem Stoße zurück, als dem ersten und einfachsten Urheber jeder Welle. Wir denken dabei unwillkürlich an den Stoß, den wir als Kinder in unsern Knallbüchsen oder Blaseröhren durch Hineinschieben des Stempels oder durch das Blasen unseres Mundes auf die Luft ausübten. Wäre die Luft so wenig zusammendrückbar wie das Wasser, so würde sie jedenfalls wie dies durch den Stoß des Stempels aus der offenen Knallbüchse augenblicklich hinausgesprützt werden. Aber die Luft gehört gerade, wie wir früher erfahren haben, zu den elastischsten, der Ausdehnung und Zusammendrückung fähigsten Stoffen. Die Bewegung des Stempels wird also grade wie in dem elastischen Balle einiger Zeit bedürfen, um sich durch die ganze Luft des Rohres zu verbreiten. Nur auf eine gewisse kleine Strecke ab vor dem



Stempel wird die Luft in dem ersten Augenblicke nach dem Stoße eine Zusammendrückung erlitten haben. Jedes Lufttheilchen auf dieser Strecke ist in einer Bewegung, deren Geschwindigkeit von dem Stempel an wächst, bis sie durch den Widerstand geschwächt und endlich vernichtet wird. Die Luftverdichtung also erreicht ihr höchstes Maaß in der Mitte der zusammengedrückten Luftschicht.

Aber kaum ist diese Verdichtung vollendet, so tritt das im Wesen jedes Stoffes begründete und als seine Elasticität bezeichnete Streben nach Wiederherstellung des alten Gleichgewichts ein und treibt die zusammengedrückte Luft sich wieder auszudehnen. Die durch den Stoß des Stempels bewegten Lufttheilchen kehren zur Ruhe zurück, werden aber von der wachsenden Kraft der Ausdehnung über diese hinausgetrieben, kehren wieder um und gerathen so in ein pendelartiges Hin- und Herschwanken, das abwechselnde Verdichtungen und Verdünnungen zur Folge hat, ähnlich dem pendelartigen Rotiren der Wassertheilchen, welches die Form der Welle hervorrief. In dem Augenblicke aber, wo die zunächst vom Stempel getroffene Luftschicht ihre erste Verdichtung vollendete, wird in der folgenden Schicht eine gleiche Bewegung veranlaßt, die



sich von Theilchen zu Theilchen fortsetzt, bis die ganze Luftsäule der Röhre in eine Reihe von abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen übergegangen, gleichsam von der ursprünglichen Verdichtungswelle durchlaufen ist.

Wie hier in der geschlossenen Röhre, so muß jeder Stoß in der rings umgebenden Luft solche Verdichtungs- und Verdünnungswellen erzeugen. Wir können uns die Wirkung eines solchen Stoßes in der Luft am besten unter dem Bilde einer elastischen Kugel vorstellen, welche sich zuerst von innen heraus abwechselnd bald ausdehnt bald zusammenzieht und so eine Reihe von Verdichtungen und Verdünnungen um sich herum bildet, die, wie die kreisförmigen Wellen im Wasser, hier kugelförmig in die Ferne verlaufen. Jede solche Verdichtung im Verein mit der durch sie hervorgebrachten Verdünnung bildet also eine Welle, deren Breite durch den Raum bestimmt wird, welchen ein einzelnes Lufttheilchen durchläuft, während es seine ganze Schwingung vollendet.

So beruht der Schall also wirklich auf einer Wellenbewegung, so ist es wirklich ein wogendes Meer, das uns umgiebt, dessen Wellen, in den Körpern erregt, die Luft durchzittern, bald von Widerständen aufgehalten und zurückgeworfen, bald das Festeste selbst durchdringend und in Schwingungen fortreißend, endlich an die gespannten Häute unseres Ohres schlagen und von unsern Nerven empfunden, gehört werden. Was wir Schall nennen, ist das Erzittern eines Körpers, und unser Hören zunächst nur die Empfindung der Wellen, die, kräftig und

faßbar genug, von dem schallenden Körper zu unsern Gehörsnerven gelangen.

Aus weiter Ferne klang das Geläut der Glocken zu uns herüber. Häuser und Berge lagen dazwischen, aber sie hielten die Botschaft nicht auf. Jetzt verstummt es in leisem, bald schwellendem, bald schwindendem Summen dahinsterbend. Da schallen plötzlich neue, minder harmonische Töne an unser Ohr. Es sind die Hammerschläge des Müllers dort unten in der Mühle, der irgend ein Geräth ausbessert. In der hellen, klaren Märzluft können wir trotz der wohl über tausend Schritt betragenden Entfernung deutlich den Müller vor seiner Hausthür erkennen, können genau jede Bewegung seines Armes verfolgen, mit dem er den Hammer führt. Es macht einen eigenthümlichen Eindruck auf uns, wenn wir den Hammer lautlos auf das Eisen niederfallen sehen, da wir erst mehrere Secunden nach dem Schlage den Schall mit unserm Ohre vernehmen. Wir erhalten hierin den deutlichsten Beweis, daß die Bewegung, welche der Schlag des Hammers hervorruft, Zeit gebraucht, um sich durch die Luft dem Ohre mitzutheilen, und wenn uns das unmittelbare Gefühl noch nicht überzeugte, so würden wir hier doch die Verwandtschaft nicht leugnen können, die zwischen der Schallbewegung und den Wellen des Wassers besteht. Wie erst lange, nachdem der Stein versank, die Welle, die er im Wasser erregte, an das Ufer schlug, so ist auch der Schall nicht bloß ein Bote aus der Ferne, sondern auch ein Bote längst vergangener Dinge.

Wenn die Sicherheit astronomischer Hypothesen und

Gesetze vorzüglich durch eine Staunen erregende Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Theorie begründet wurde, so würde nichts mehr als eine ähnliche Uebereinstimmung im Stande sein, jeden Zweifel über das Wesen der Schallbewegung zu beseitigen. Die Geschwindigkeit des Schalles wird aber am leichtesten einen Gegenstand für eine solche Prüfung bieten. Ist der Schall eine Wellenbewegung, so kann seine Geschwindigkeit nur abhängig sein von der Elasticität der Luft, also ihrem barometrischen Drucke, und von ihrer Dichtigkeit, und der Physiker muß im Stande sein, diese Geschwindigkeit ebenso genau zu berechnen, wie die des freien Falles. Zugleich aber steht auch die Beobachtung frei; man kann scharf genug die Zeit messen, in welcher der Schall eines Kanonenschusses aus ebenso genau gemessener Entfernung herüber dringt. Die Wissenschaft hat sich natürlich diesen beiden Forderungen nicht entzogen, aber das Resultat, das sie lieferte, schien für den ersten Blick ein verwirrendes und der Theorie durchaus ungünstiges zu sein. Während die Beobachtung für die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft ungefähr 1058 Fuß in der Secunde ergab, verlangte die Berechnung eine bedeutend geringere von 868 Fuß. Nur eine tiefere Einsicht in das Wesen der Natur und die stete Regsamkeit aller ihrer Kräfte konnte diesen Widerspruch ausgleichen. Die Schallwellen bestanden in wechselnden Verdichtungen; jede Verdichtung aber ist mit Wärmeentwicklung verbunden; und so mußte die auch durch die Schallwellen stets frei werdende Wärme, die für das Thermometer freilich in den unmittelbar mit

den Verdichtungen zugleich erfolgenden Verdünnungen verloren geht, auf die Geschwindigkeit des Schalles eine beschleunigende Wirkung ausüben, da das erhöhte Bestreben nach Ausdehnung und Zusammenziehung offenbar einer Vergrößerung der Elasticität gleich kommt.

Wenngleich uns die unmittelbare Beobachtung als das sicherste Mittel erscheint, um die Gesetze in der Natur aufzudecken, so ist der Werth ihrer Resultate in der That doch nur auf eine gewisse Annäherung an die Wahrheit zu beschränken. Bei jeder Beobachtung wirken so mannigfaltige, so veränderliche Umstände auf die Erscheinung ein, daß erst die Kenntniß dieser Bedingungen ein Maß für die Genauigkeit der Resultate abgeben kann. Darum dürfen wir uns keineswegs wundern, wenn wir aus solchen Beobachtungen stets die verschiedensten und abweichendsten Zahlen hervorgehen sehen, und dürfen solche Verschiedenheiten keineswegs immer auf Mängel oder Fehler der Beobachtung schieben, müssen ihre Sicherung vielmehr von dem geschärftern Blicke erwarten, der auch die versteckteren Einflüsse bei der Erscheinung auszuscheiden weiß. So durfte uns auch der auffallende Widerspruch in den Zahlen für die Geschwindigkeit des Schalles, wie sie aus der Berechnung und Beobachtung hervorgingen, nicht mit Mißtrauen erfüllen. Bei einer so zarten Bewegung, wie wir die der Verdichtungs- und Verdünnungswellen des Schalles kennen lernten, bei einem so veränderlichen Elemente, wie es sprichwörtlich die Luft ist, in welcher jene Wellen fließen, müßte es grade umgekehrt verwundern, wenn zwei so entge-

gengesetzte Voraussetzungen, wie die der Berechnung, die keine verändernden Einflüsse kennt, und die der Beobachtung, die mitten rings von ihnen umgeben ist, zu gleichen Resultaten geführt hätten. Dichtigkeit und Spannung, Temperatur und Feuchtigkeit sehen wir in der Luft in beständigem Wechsel begriffen, und unsre Instrumente, Barometer, Thermometer, Hygrometer verfolgen diesen Wechsel fast von Stunde zu Stunde. Sollten solche Veränderungen nicht von Einfluß auf die Geschwindigkeit des Schalles sein? Allerdings mögen sich einzelne dieser Umstände in ihren Wirkungen wieder aufheben. Dichtigkeit und Spannung wirken ja grade in entgegengesetztem Sinne auf die Geschwindigkeit der Wellenbewegung; diese beschleunigt, jene verzögert sie in gleichem Grade. Da aber Dichtigkeit und Spannung der Luft stets in demselben Verhältnisse ab- und zunehmen, so kann natürlich aller Wechsel des Barometerstandes keinen Einfluß auf die Geschwindigkeit des Schalles ausüben. Auch die Bewegung der Luft, der Wind scheint diese Schallbewegung völlig unberührt zu lassen. Die Wellen fließen ungestört mit den bewegten Luftschichten fort, ungestörter, als die Wellen des fließenden Wassers, die wenigstens in der oberflächlichen Form eine Veränderung zeigen. Ganz anders aber muß die Wärme auf die Bewegung des Schalles einwirken. Die Wärme dehnt die Luft aus, und ihre Wellen durchlaufen darum größere Strecken. Die Geschwindigkeit des Schalles wächst daher mit der zunehmenden Wärme der Luft, und wie gering auch die ausdehnende Kraft ist, so beträgt doch

ihre Wirkung fast 2 Fuß in der Secunde für jeden Wärmegrad. Gilt daher jene Schallgeschwindigkeit von 1058 Fuß in der Secunde für den Gefrierpunkt, also für den Winter, so wird sie für den Sommer bei einer Temperatur von 21° auf 1100 Fuß anzuschlagen sein. Und doch sahen wir, daß, wie so oft in ihren unmeßbaren und aller Wahrnehmung sich entziehenden Wirkungen die Kräfte der Natur viel bedeutendere Aenderungen schaffen, als in ihren offenen und fühlbaren Erscheinungen, so auch hier die von dem feinsten Thermometer unerreichbaren Wärmemengen, welche der Schall selbst in seinen Verdichtungen der Luft beständig erzeugt, noch weit bedeutendere Beschleunigungen des Schalles hervorriefen, die um mehrere 100 Fuß in der Secunde die berechnete Geschwindigkeit hinter der wirklich beobachteten zurückließen. Endlich aber kommt noch ein neues Element hinzu, um auf die Schallgeschwindigkeit in der Luft verändernd einzuwirken. Es ist ihre Feuchtigkeit, der Wasserdampf, von dem sie bald mehr bald minder erfüllt ist. Es läßt sich wohl voraussehen, daß die Schallwellen andre Elemente als die Luft, daß sie Wasser, Dämpfe und vollends feste Körper mit einer ganz andern Geschwindigkeit durchlaufen werden, da eine andre Dichtigkeit, eine andre Elasticität, eine andre Beweglichkeit der Theilchen die Mittheilung ihrer Bewegungen bald erleichtern bald erschweren müssen.

Der Müller hat indessen seine geräuschvolle Arbeit draußen beendet und ist in das Haus gegangen, um dort seine Ausbesserungen fortzusetzen. Wieder erschallen

seine Hammerschläge, dumpfer und schwächer zwar als zuvor, aber doch noch deutlich genug unser Ohr treffend. Also selbst durch Mauern und Fenster drangen die Schallwellen hindurch, und wie anders konnten sie das, als indem sie selbst die festen Mauern zu gleichen Schwingungen anregten! So seltsam uns das auch scheint, da wir bisher nur gewohnt waren, Wellen als das eigenthümliche Vorrecht von Flüssigkeiten zu betrachten, so unleugbar ist es doch und so begreiflich wird es zugleich, wenn wir an die Dichtigkeitswellen denken, die das Zurückprallen des elastischen Balles von der Wand bewirkten. Wenn wir unsre Erfahrungen befragen, so dünkt es uns sogar, als ob solche starre Körper meist eine bessere und schnellere Leitung für den Schall darböten, als selbst die dünne, bewegliche Luft. Als man zum ersten Male das Ohr an lange eiserne Röhrenleitungen legte, war man in der That so überrascht von der Schnelligkeit, mit welcher man Hammerschläge am andern Ende vernahm, daß man geneigt war, an eine augenblickliche Verbreitung des Schalles durch die festen Körper zu glauben. Indessen hat eine genauere Beobachtung gezeigt, daß die Bewegung des Schalles so gut wie jede andre einer gewissen Zeit zu ihrer Mittheilung bedarf, daß freilich diese Zeit bei den meisten Metallen und Hölzern 10—15 mal kürzer ist, als in der Luft. Dem ersten Anschein nach möchte man diese Thatsache mit der großen Dichtigkeit der festen Körper, welche offenbar den Verdichtungen der Schallbewegung hinderlich ist, für unvereinbar halten. Aber jedenfalls spielt hier die Elasticität eine bedeutende Rolle, indem sie die ein-

mal bewirkten Verdichtungen außerordentlich schnell wieder aufzuheben strebt. Dadurch erklärt sich uns denn auch die große Leitungsfähigkeit, welche das Wasser für die Bewegung des Schalles zeigt. Kein Körper widerstrebt, wie wir gesehen haben, so sehr jeder Zusammendrückung, wie das Wasser, und dennoch vermag es den zarten Verdichtungsstößen des Schalles nicht zu widerstehen und verbreitet sie mit mehr als vierfacher Geschwindigkeit durch seine Massen fort. So ist auch das Wasser nicht eine stumme, öde Welt, nicht dem schönen Reiche der Töne verschlossen. Aus den Tiefen seines Grundes schallt der Stoß des fallenden Ankers zu uns herauf; tief unter seiner Fläche vernimmt der Fisch den Klang des Glöckchens, das ihn zur Fütterung ruft, und wir selbst, wenn wir unter die Fluthen tauchen, hören besser als in der Luft jedes Geräusch draußen, jeden Ton drinnen in dem trägen, unelastischen Elemente.

Wie kommt es aber, daß trotz dieser Kraft des Schalles, selbst feste Körper zu durchdringen, er allmälig sich schwächt und verstummt? Der Gesang des Wandrers, der an uns vorüberzog, verhallte mit ihm in der Ferne, und wenn wir diesen Berg verlassen, werden auch die Hammerschläge aus der Mühle nicht mehr zu uns herüberschallen. Der Schall ist eben eine Welle, die am Ufer verrinnt, die rings von ihrem Ursprunge in immer größeren Kreisen sich ausbreitet, immer geringere Verdichtungen und Verdünnungen bewirkt, bis endlich das Ohr die leisen Bewegungen nicht mehr zu empfinden vermag, die sie in ihren letzten Zuckungen anregt. Das

Ohr ist freilich unser einziger Richter über die Stärke des Schalles, und das feinere, geübtere Ohr wird vielleicht da noch Töne vernehmen, wo für das stumpfere längst alles schweigt. Aber die Empfindung des Ohres hängt vor allem von der Stärke des Eindrucks ab. Erinnern wir uns, daß es in der That eine Bewegung ist, welche diesen Eindruck auf unser Gehörorgan ausübt, und daß die Wirkung dieser Bewegung natürlich, wie die jeder andern, durch ihre Geschwindigkeit sowohl als durch die bewegte Masse gemessen werden muß. Erinnern wir uns aber auch der Warnung, welche wir bei der Betrachtung der Wasserwellen erhielten, uns durch den Schein nicht täuschen zu lassen und das Fortschreiten der Wellenform für die wirkliche Bewegung zu nehmen. Allerdings möchte uns, wie dort das Auge, so hier das Ohr gar gern verleiten, in der fortschreitenden Mittheilung der ursprünglichen Erschütterungen, in der Verbreitung und Leitung des Schalles die eigentliche Bewegung zu sehen. Aber hier wie dort ist es nur die kurze schwingende Bewegung der einzelnen Theilchen, dort in kreisförmigen Bahnen, hier nur in grader Linie hin- und hergehend, dort Berge und Thäler, hier Verdichtungen und Verdünnungen erzeugend, welche als Bewegung wirken und gelten kann. War es dort die Höhe des Wellenberges, so ist es hier die Größe der Verdichtung, welche die Geschwindigkeit der Theilchenbewegung und damit zugleich die Wirkung der Bewegung selbst mißt. Wie auf dem Meere das schreckenvollste Bild seines Wellenaufruhrs uns hochgethürmte Wellenberge neben gähnen-

den Abgründen zeigte, so wird der stärkste Schall uns die schroffsten Gegensätze von Verdichtungen und Verdünnungen in unmittelbarer Aufeinanderfolge zeigen. Je dichtere Wellen also das Ohr treffen, so lautet in Kürze unser Schluß, desto kräftiger wird ihre Wirkung sein; denn desto größer ist nicht allein die in ihnen bewegte Masse, sondern desto geschwinder ist auch die Bewegung in ihnen.

Im Unterschiede zwischen Verdichtung und Verdünnung beruht die Stärke des Schalls für unser Ohr, wie alles Empfinden ja überhaupt ein Unterscheiden ist. Zunächst wird also die Empfindung abhängen von der Erschütterung des schallenden Körpers selbst, welche die fortschreitenden Verdichtungswellen anregt. Das Geläut der Glocken hallt darum weiter als das Lied des Sängers, und der Schall einer Kanone vermag noch Fenster zu zersprengen, wo der Pistolenschuß kaum mehr gehört wird. Dann aber ist es auch die Fähigkeit der den Schall fortleitenden Körper für jene Verdichtungen, welche die Verstärkung oder Schwächung des Schalles bedingt. Jene festen, dichten Körper also, die wir bereits als so günstig für die Geschwindigkeit der Mittheilung kennen lernten, werden auch für die Verstärkung des Schalles sich am geeignetsten zeigen. Wir haben ja als Kinder schon manche Beweise davon erhalten. Wenn wir das Ohr auf den Tisch legten, wurde das leiseste Klopfen unter demselben zu einem lärmenden Geräusch. Wenn wir einen Faden oder eine Saite zwischen den Zähnen faßten und spannten, wurde jede Schwingung zu einem lauten Sum-

men. Später hörten wir wohl, daß ähnliche Mittel benutzt wurden, um tauben Personen den Genuß der Musik zu verschaffen, daß ein Metalldraht, den sie zwischen den Zähnen hielten, und der mit dem Resonanzboden eines Klaviers in Verbindung stand, ihrem sonst für Schallbewegungen unzugänglichen Ohre durch seine harten, in Schwingung versetzten Umgebungen alle Töne des Klaviers zuführte. Wir wissen auch, wie günstig das Wasser, wie günstig besonders harte Gesteine für eine kräftige Leitung des Schalles sich zeigen. Wir haben oft erfahren, auf wie außerordentliche Entfernungen hin über das Meer oder durch den Erdboden der Donner der Schlachten oder das Gebrüll eines vulkanischen Ausbruchs vernehmlich wurde. In Bergwerken hören Arbeiter weithin durch das Gestein die Schläge der in benachbarten Stollen arbeitenden Knappen. Bei Belagerungen, wo Belagerer und Belagerte oft die wichtigsten Kämpfe in der Tiefe unter der Erde ausführen, wo sie mit Minen und Gegenminen einander den Boden unter den Füßen und unter Mauern und Wällen unsicher zu machen suchen, verräth oft das Hüpfen von Erbsen auf dem gespannten Fell einer Trommel aus weiter Ferne und durch mächtige Gestein- und Erdmassen hindurch die Hackenschläge der Minenarbeiter. Gerade die Luft, der Hauptträger des Schalles, scheint am trägsten für seine Bewegungen zu sein. Hier, scheint es, verlaufen die Schallwellen am leichtesten, sich mit der Entfernung in quadratisch wachsendem Verhältniß zerstreuend und schwächend. Wenn es uns auch bisweilen dünkt, als ob die Luft einmal eine

größere Empfänglichkeit für den Schall zeige, als ob wir bei Nacht besser hörten, als bei Tage, im Winter und bei heiterem Himmel besser als im Sommer und im Nebel und Regenwetter, so glauben wir doch kaum unsern Beobachtungen trauen zu dürfen und meinen die Ursache viel eher in einer größeren Empfindlichkeit unseres Ohres oder in einer gesteigerten Aufmerksamkeit suchen zu müssen, als in wirklich verschiedenen Zuständen und Fähigkeiten der Luft. Dennoch dürften diesmal unsre Sinne mehr Recht haben und in ihrem Urtheil weniger durch Gemüthsstimmung oder Reflexion getrübt sein, als wir ihnen sonst gern zutrauen. Wenn wir in den Schilderungen kühner Bergbesteiger von dem ängstlichen feierlichen Schweigen lesen, welches über den Schneefeldern der hohen Alpengipfel schwebt, so dürfte es nicht bloß der Anblick der traurigen, kalten Einöde, nicht bloß das Gefühl des Verlassenseins in starrer Wüste sein, wodurch die aus der Abwesenheit lebender, tonerzeugender Wesen ohnehin erklärliche Stille ein so furchtbares Gepräge erhält. Ein weit materiellerer Grund liegt dieser Erscheinung zu Grunde. Wir wissen, daß die Stärke des Schalls namentlich von der Dichtigkeit der leitenden Luft abhängt. Hier in diesen Höhen also, wo durch den verringerten Luftdruck die Luft eine solche Verdünnung erfährt, daß sie kaum noch die Athmung zu erhalten vermag, daß das Blut in den Gefäßen seine Wandungen sprengt, daß die Schenkelköpfe selbst nicht mehr den nöthigen Halt in ihren Pfannen finden, hier muß auch die Schallwelle eine solche Schwächung erleiden, daß in der That der Pistolenschuß kaum

dichtere Wellen und darum kaum eine stärkere Empfindung im Gehöre hervorzubringen vermag, als ein kräftiger Handschlag in der dichteren Atmosphäre unserer Ebenen. Ganz die entgegengesetzte Erscheinung muß darum in den kalten, aber dichten Luftschichten eisiger Polarländer eintreten, und in der That erzählen die Reisenden jener Gegenden, daß sie die menschliche Stimme bis auf Entfernungen von einer Viertelmeile deutlich zu vernehmen vermochten. Aber auch bei uns muß der Wechsel der Jahreszeiten, ja streng genommen jeder Wechsel der Barometerhöhe ähnliche Veränderungen in der Stärke des Schalles erzeugen. Wir müssen in der Kälte des Winters besser hören, als an heißen Sommertagen, an denen überdieß der üppigere Pflanzenwuchs der Verbreitung der Schallschwingungen hemmend entgegentritt.

Aber es ist zugleich ein allgemein herrschender Glaube, daß man auch zur Nachtzeit besser höre, als am Tage. Sollte hier nicht doch eine Täuschung zu Grunde liegen, da wir doch wohl schwerlich im Stande sein können, so geringe Dichtigkeitsunterschiede in der Stärke des Schalles zu empfinden, sollte nicht vielleicht die größere Schärfe des Gehörs in der Nacht mit der ruhenden Thätigkeit der übrigen Sinne, namentlich des Gesichts, vielleicht auch mit dem Wegfall aller Störungen durch den Tageslärm zusammenhängen? Allerdings mag hier mehr als irgendwo die Phantasie der Empfindung einen Streich spielen. Aber selbst in jenen öden, menschenleeren Steppen und Wüsten Asiens und Amerikas haben aufmerksame Naturbeobachter solche Unterschiede in auffallendster Weise ge-

funden. Es müssen also doch auch wirkliche, natürliche Ursachen an dieser Schwächung und Verstärkung des Schalles zur Tag- und Nachtzeit mitwirken, die nicht gerade auf großen Dichtigkeitsunterschieden der leitenden Luft, sondern vielmehr auf der Störung der Schallwellen durch andere Bewegungen beruhen mögen. Schon jede Vermischung von mehreren Schalleindrücken, selbst wenn diese zum größten Theil gar nicht zum Bewußtsein kommen, muß eine Schwächung des Schalles bewirken. Jede Schallwelle, die durch Hindernisse veranlaßt wird, schwache Nebeneindrücke zu erzeugen, neue Wellenreihen auszusenden, welche andere Richtungen verfolgen und zu andrer Zeit das Ohr erreichen als der Hauptschall, verliert offenbar an ihrer Wirkung. Wir haben es oft genug erfahren, wenn wir mehrere schnell hintereinander folgende Laute der Musik oder der Rede auffassen wollten, wie störend die Nebeneindrücke der vorhergehenden Laute auf die Wahrnehmung der folgenden einwirkten. Selbst Laute, die in solchen Entfernungen erzeugt werden, daß sie an sich zwar unsre Aufmerksamkeit nicht mehr erregen, daß sie von uns als Schall nicht mehr empfunden werden können, sind doch noch im Stande, andere Eindrücke zu schwächen, die in unser Bewußtsein gelangen. Solcher Störungen nun finden am Tage Tausende selbst in der ruhigsten Natur statt. Jedes Blatt, jeder Strohhalm, jede Unebenheit des Erdbodens, jeder Windstoß vermag sie zu veranlassen. Namentlich ist es die Sonnenwärme, welche beständig eine Menge von untergeordneten Bewegungen, nicht gerade Schallwellen, in der Luft erzeugt

durch die Wärmeunterschiede, die jeder Stein und jedes Blatt zeigt, die unter dem Einflusse der Schatten von Bäumen und Wolken, die selbst durch die Zurückwerfung der Sonnenstrahlen in den verschiedenen Luftschichten überall, auf üppig bewaldeten Fluren, wie auf dürren Sandwüsten stattfinden. Diese zahllosen Luftströmungen, die warmen und kalten, auf- und niedersteigenden, wie die hin und wieder über die Flur von Gegenstand zu Gegenstand streichenden, sind es, welche am Tage den Schall so auffallend schwächen.

So ist es also keine Täuschung, wenn wir der Stille der Nacht ein Tönen und Schallen zuschreiben, das dem geräuschvolleren Tage fremd ist; und nicht der verschärfte Sinn des Gehörs allein ist es, sondern der eigenthümliche Zustand der Nachtluft, welcher Bewegungen als Töne empfinden läßt, die sonst unempfunden an dem Ohre vorübergehen. Darin beruhen jene Schauer, mit denen uns die Töne der Nacht erfüllen, wenn sie, unvermittelt von Auge und Verstand, aus geheimnißvollem Dunkel hervordringend, nicht das Ohr allein, sondern alle Empfindungsnerven unseres Körpers erschüttern und in der Phantasie allein ihre Deutung finden. Darin beruhen jene seltsamen Naturtöne, die der Aberglaube aller Völker an ein geheimnißvolles Jenseits knüpfte, bald als warnende oder drohende oder klagende Geisterstimmen, bald als Schritte naheschwebender Geister auffaßte, und die doch nur in Vogelstimmen, im Rauschen des vom Winde bewegten Sandes oder im Rasseln dürrer, vom Nachthauch entführ-

ter Blätter auf einsamen Wald- und Wüstenpfaden ihre Erklärung finden.

So sieht der Mensch überall Wunder, wo der gewöhnliche Gang der Dinge ihm verändert erscheint, und wo er die verändernde Ursache nicht zugleich gewahrt. Aber er wundert sich nicht, wenn er bei heiterem, stillem Wetter, über ruhigem Wasserspiegel oder weiter Eisfläche das Läuten ferner Glocken deutlicher hört, als wenn Stürme, Regentropfen oder Schneeflocken die Schallwellen unterbrechen und stören. Er wundert sich nicht, wenn aus dichtem Nebel ihm von weiter Ferne das Geräusch einer Stadt oder einer Straße mit einer Deutlichkeit entgegenhallt, als ob er sich mitten darin befände. Er sieht hier schwächende oder stärkende Ursachen und wundert sich nicht, obgleich ihm die Wirkungsweise dieser Ursachen vielleicht grade so unbekannt ist, als die der unsichtbaren Strömungen, welche zur Tageszeit die Schallwellen störten und schwächten.

Sollen wir uns denn in der That zu dem Glauben bequemen, daß rings um uns ein unsichtbares, unhörbares Wellenmeer wogt, dem die Nerven unseres eigenen Körpers angehören, von dem selbst die festen Steine, der Erdboden, die Wände unsrer Häuser durchfluthet werden, so müssen wir wohl fragen: wo sind die Ufer dieses Meeres, gegen die seine Wellen schlagen, wo sind die Klippen und Inseln, an denen die Wellen brandend sich brechen? Haben wir noch irgend einen Beweis für die Wellennatur der Schallbewegung zu erwarten, so kann es nur der Nachweis sein, daß auch hier jene auffallen-

den Gesetze Geltung haben, welche die Wasserwellen uns kennen lehrten. Auch die Schallwellen müssen von Widerständen zurückgeworfen, von Oeffnungen gebeugt werden und in ihrer Kreuzung und Begegnung jene seltsamen Erscheinungen der Interferenz, der Verstärkung und Schwächung zeigen.

Freilich wird es nur das Ohr, nur unsre Empfindung sein, welche das Urtheil über diese Erscheinungen zu fällen hat. Schon das Auge konnte täuschen, wie vielmehr also der ungeübte Sinn des Gehörs! Eine Zurückwerfung der Schallwellen kann von uns nur erkannt werden aus einer Wiederholung der Empfindung. Ein zurückgeworfener Schall muß zweimal gehört werden. Wird nun aber unser Ohr so gut als das Auge die einzelnen Empfindungen zu trennen vermögen, werden nicht vielleicht die Eindrücke so schnell erfolgen, daß sie dem Ohre zusammenfließen? Daß Etwas der Art in unsrer Empfindung geschieht, davon liefert unser Tastgefühl den besten Beweis. Zwei gleichzeitige, in kleinen Entfernungen bewirkte oder zwei kurz aufeinander folgende Stiche empfinden wir an unsern meisten Körpertheilen nur als einen einzigen. An unserm Oberarm können wir die Stiche eines über einen Zoll weit geöffneten Zirkels nur als einen einzigen wahrnehmen. Eine ähnliche Langsamkeit unsrer empfindenden Nerven dürfte uns also leicht auch die Unterscheidung zweier schnell aufeinander folgenden Schallwellen unmöglich machen. Bedenken wir überdies die außerordentliche Geschwindigkeit der Schallbewegung! In jeder Secunde durchfliegt die

Erschütterung 1058 Fuß. Sind wir also im Stande, in diesem kurzen Zeitraume noch 10 Schalleindrücke als wirklich getrennte in unserm Ohre zu empfinden, so werden die Erregungspunkte dieser Schallwellen etwa um 105 Fuß von einander entfernt sein müssen.

Soll daher eine Schallwelle für unser Ohr in vernehmlicher Weise zurückgeworfen werden, so muß die zurückwerfende Wand mindestens 53 Fuß von unserm Ohre entfernt sein, damit zwischen ihrem ersten Eindrucke beim Entstehen und ihrem zweiten bei der Rückkehr ein Zeitraum von $1/_{10}$ Secunde liegt, der zum Durchlaufen der doppelten Strecke zur und von der Wand verbraucht wurde. So wird zwar jeder Schall, jedes Wort aus unserm Munde, jeder Schlag, jeder Fußtritt beständig zurückgeworfen, denn überall finden sich Widerstände; aber diese Widerstände sind meist so nahe, daß die zurückgeworfenen Schallwellen mit den ursprünglichen in einander fließen, grade wie die Lichteindrücke einer im Kreise geschwungenen glühenden Kohle zu einem einzigen Feuerringe verschmelzen. Darum können wir in unsern Zimmern sprechen, ohne durch den Nachhall unsrer Worte gestört zu werden, während man in großen Kirchen und Sälen oft die künstlichsten Mittel aufbieten muß, um diesen Nachhall zu zerstreuen. Die Schnitzwerke und durchbrochenen Arbeiten in Kirchen, die Tapeten und Draperien in Sälen sind oft mehr, als was sie scheinen, mehr als Schmuck und Zierrathen, sie sind absichtlich angebracht, um die sich daran brechenden Schallwellen zu vernichten. Weiche, unelastische Körper oder rauhe Flächen können

eben die Schallwellen gar nicht zurückwerfen oder müssen doch die Wirkung der zurückgeworfenen Wellen durch ihre Zerstreuung und Auflösung schwächen.

Draußen aber in der freien Natur klingt von Fels und Wald ungehindert und ungeschwächt der Wiederhall zu unserm Ohr. Schon die Alten kannten die Stimme des Echo's, und sie hatte etwas Geheimnißvolles, Dämonisches für sie, die noch nichts von dem wogenden Ocean wußten, der sie umgab, und dessen Wellen an den Felsgestaden sich brachen. Ist die Entfernung nur groß genug, so können selbst mehrere Silben nach einander noch in ihrer Rückkehr unser Ohr treffen. Eine Entfernung von 530 Fuß gewährt ja 10 Schallwellen Zeit genug, nach einander ihre Eindrücke auszuüben, und ein zehnsilbiges Echo also unserm Ohre vernehmlich zu machen. Mehrere gegenüberstehende Wände können sogar, grade wie die Wände des engen Mühlgrabens die Wasserwellen von einem Ufer zum andern hinüberwarfen, auch die Zurückwerfung der Schallwellen wiederholen, und mit Staunen wird dann das Ohr von dem Donner eines Böllerschusses erfüllt, wenn er, wie beim berühmten Lorleyfelsen, 17 mal zwischen den engen Felswänden des Rheins hin und wieder rollt.

Aber nicht von festen Wänden allein wird der Schall zurückgeworfen; auch überall da, wo eine plötzliche Veränderung in der Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles eintritt, ist eine Zurückwerfung damit verbunden. Das langanhaltende Rollen des Donners rührt von einer Zurückwerfung der Wolken, jener nebelhaften

Dunstanhäufungen, her. Aber selbst beim Uebergange des Schalles in verschiedene Luftschichten, wärmere und feuchtere, oder kältere und trocknere, also dichtere oder dünnere Schichten tritt eine Zurückwerfung und zugleich eine Schwächung des Schalles ein. Das war es eben, was uns jene auffallende Schwächung des Schalles am Tage und zur heißen Sommerzeit erklärte; es waren die neuen Wellensysteme, die an den Grenzen der verschiedenen Luftschichten, beim Begegnen und Durchdringen vrrschiedener Widerstände sich erzeugten, welche störend in die ursprünglichen Wellensysteme eingriffen.

Daß die Zurückwerfung des Schalles genau nach denselben Gesetzen erfolgen müsse, die wir bei der Zurückwerfung der Wasserwellen kennen gelernt haben, können wir keinen Augenblick in Zweifel ziehen. Daß auch hier die unter schiefen Winkeln auffallenden Schallwellen unter denselben Winkeln von der Wand zurückkehren, davon könnten uns akustisch gebaute Säle und Gewölbe selbst durch das Ohr überzeugen. Wer hätte nicht schon von jenem sogenannten Ohre des Dionys oder von den Flüstergallerien gehört, in denen durch die Zurückwerfung gekrümmter Wände die leisesten Flüstertöne des Sprechenden an einzelnen Punkten so vereinigt wurden, daß sie trotz weiter Entfernung völlig vernehmlich blieben! Daß die zarten Schallwellen auch an den Grenzen wenig unterschiedener Luftschichten, selbst wenn sie diese durchdringen, eine Zurückwerfung erleiden, kann uns ebenso wenig auffallen, da wir bei Wasserwellen ein solches Durchdringen des Widerstandes nicht zu beobachten

hatten. Aber neu ist jedenfalls diese Erscheinung, und es fragt sich, ob nicht außer dieser Schwächung doch auch eine wesentliche Aenderung in der Welle mit ihrem Eintritt in ein neues Mittel, sei es ein fester Körper, eine Flüssigkeit oder nur eine andre Luftschicht, verbunden sei.

Es giebt ein Gesetz, das für alle Bewegungen in der Natur besteht, und das für die künstlichen Bewegungen, welche der Mensch mit seinen Maschinen hervorruft, von außerordentlicher Wichtigkeit ist: daß mit jeder Uebertragung einer Bewegung, ja selbst mit jeder plötzlichen Veränderung derselben in Geschwindigkeit oder Richtung ein Kraftverlust verbunden ist. Wenn der Unerfahrene die Wirkung der Maschinen als wunderbar anstaunt, wenn er in ihnen eine ungeheure Vervielfältigung der Kräfte zu sehen meint, so belehrt ihn die Wissenschaft zuerst, daß eine solche Vervielfältigung eine Täuschung ist, daß die wahre Wirkung einer Maschine in keinem Falle die Wirkung übertreffen kann, welche die bewegende Kraft für sich allein zu erzeugen im Stande wäre. Wenn er dann noch staunt über die ungeheuren Werkstücke, die hoch auf den Denkmälern menschlicher Baukunst prangen, und zu deren Hebung Tausende von Menschenarmen sich hätten vereinigen müssen, so lehrt ihn die Wissenschaft weiter, daß diese Vereinigung von Kraft auf Kosten der Zeit geschah, daß dieselbe Kraft in der That wirksam war, nur nicht auf einmal, sondern auf längere Zeiträume vertheilt. Sie lehrt ihn sogar, daß noch eine weit größere Kraft für jene Hebemaschinen nöthig war, als die unmittelbare Wirkung derselben erfordert hätte,

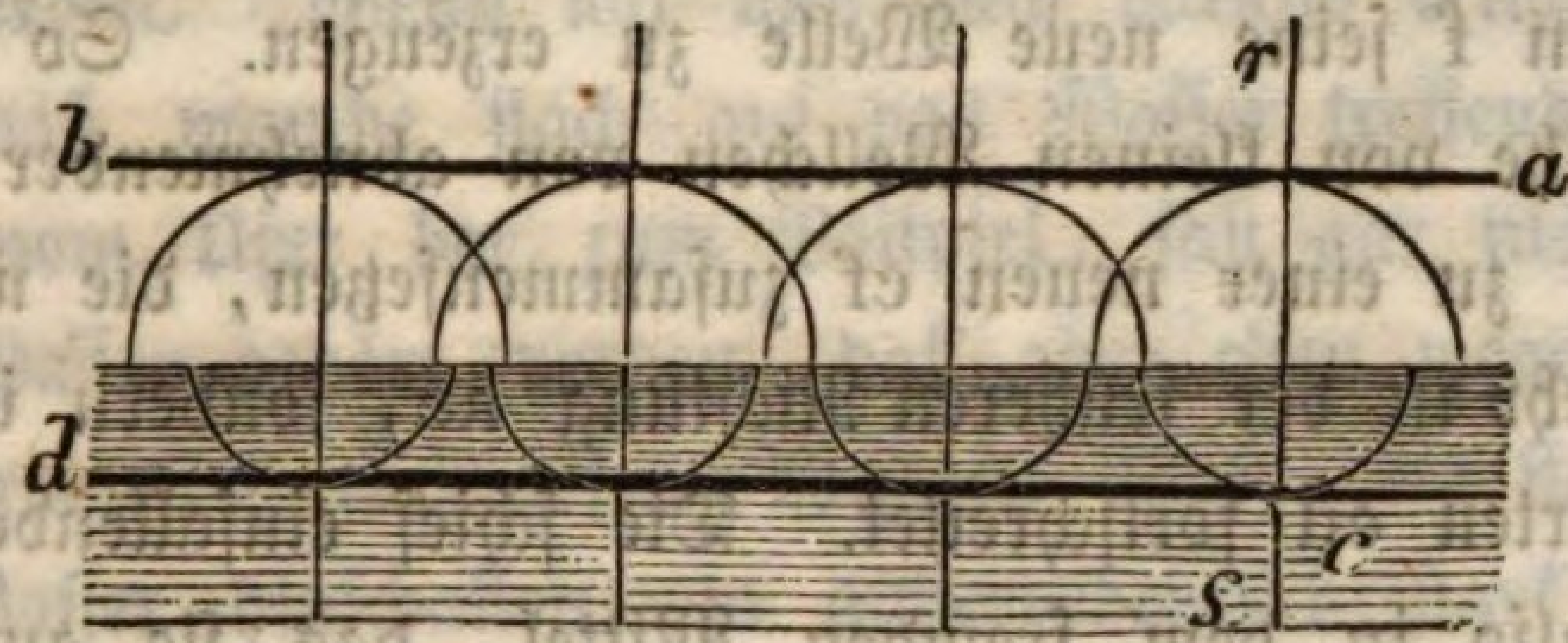
daß die Unbiegsamkeit der Ketten und Stricke, daß die Reibung in den Ringen und Pfannen einen sehr ansehnlichen Theil der bewegenden Kraft unnütz verzehrten. Aber vollends wird der Laie in seiner maßlosen Bewunderung der Maschinen irre werden, wenn ihn die Wissenschaft lehrt, daß selbst jede Ungleichmäßigkeit in der Handhabung jener Maschinen, jede plötzliche Aenderung in der Geschwindigkeit ihrer Bewegungen mit einem Verluste an Kraft verbunden ist, und daß, da weder durch Reibungswiderstände noch durch plötzliche Geschwindigkeitsänderungen irgend ein Theil einer Kraft wirklich vernichtet werden kann, **alles**, was man nicht in der Nutzleistung der Maschine oder in dem Ueberschusse an Kraft wiederfindet, der nach der Wirkung in der Maschine zurückbleibt, zu ihrer Erschütterung und Zerstörung beigetragen hat, daß also jene vermeintlichen Kraftverluste sogar früh oder spät die vollständige Auflösung der Maschine herbeiführen.

Kehren wir indeß von unsrer Abschweifung in das Gebiet der Maschinen zurück zu den zarteren Bewegungen der Schallwellen! Auch hier muß jenes Gesetz seine Geltung finden, auch hier muß mit jeder Veränderung der Bewegung, mit jedem Aufenthalte, der ihr durch Hindernisse bereitet wird, selbst mit jeder scheinbaren Förderung, die sie durch plötzliche Verringerung des Widerstandes erhält, ein Kraftverlust, eine Schwächung der Bewegung verbunden sein. Mit einem Worte, auch die Bewegung des Schalles erleidet beim Uebergange in mehr oder minder dichte, mehr oder minder leitungs-

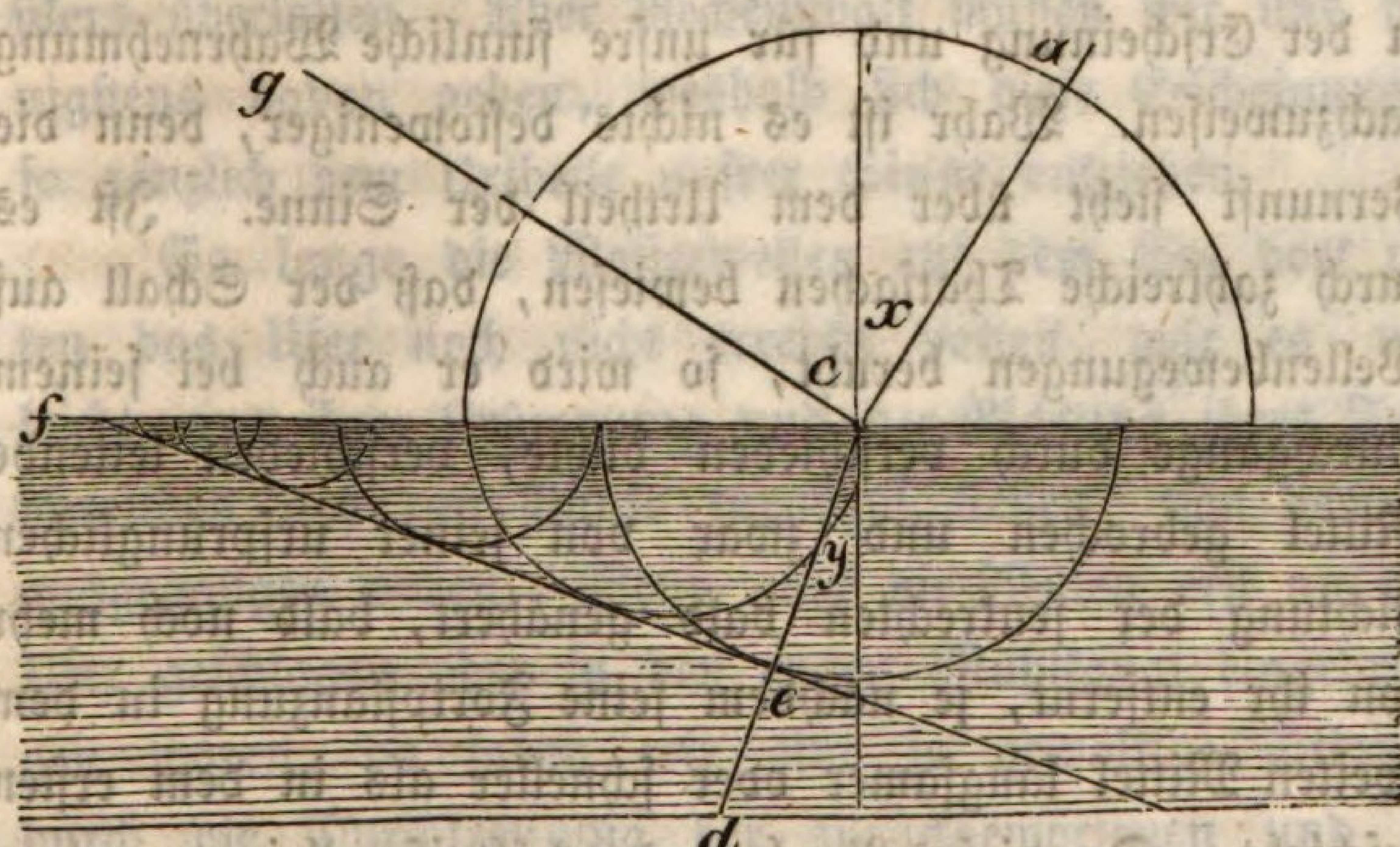
fähige Mittel Verluste, und diese Verluste machen sich zunächst bemerkbar in der Erregung neuer rückschreitender Wellen, in einer theilweisen Zurückwerfung. Also nicht an harten Wänden allein, nicht an der spiegelnden Wasserfläche, sondern auch an den Grenzen warmer, feuchter und trockner, kalter Luftschichten findet diese Zurückwerfung statt. Natürlich muß diese Schwächung des Schalles bedeutender sein beim Uebergange in dichtere Schichten als umgekehrt, und der Schall muß schwächer aus der Luft in das Wasser trotz der größeren Leitungsfähigkeit des letztern übergehen als aus dem Wasser in die Luft. Je zahlreicher aber die Wechsel sind, je näher die verschiedenen Hindernisse einander folgen, desto stärker und schneller muß auch die Schwächung des Schalles zunehmen. Vermögen schon doppelte Thüren und Mauern durch die eingeschlossene dünnere Luftschicht den Schall bedeutend zu schwächen, so werden sie es im höchsten Grade, wenn diese Zwischenräume gar mit lockeren Hobel- oder Sägespänen erfüllt sind, und das stimmt durchaus mit unsrer Beobachtung überein, daß Betten, wollene Decken, Strohmatten im Stande sind, die Verbreitung des Schalles gänzlich aufzuheben.

Aber diese Schwächung der Wellenbewegung durch Erregung rückschreitender Wellen dürfte nicht einmal immer die einzige Folge ihres Ueberganges in verschieden dichte Mittel sein. Sie kann es nur dann sein, wenn sie in senkrechter Richtung auf die neue Schicht trifft. Da in diesem Falle alle Oberflächentheile der Schicht zugleich von den Wellen getroffen werden, so sind auch

die einzelnen neu gebildeten Wellen einander gleich und setzen sich zu einer einzigen, vorwärts und rückwärts in derselben Richtung, nur mit verschiedenen Geschwindigkeiten



fortschreitenden Welle (ab und cd) zusammen. Wenn aber die Verdichtungswelle des Schalles, die wir uns der leichteren Anschauung wegen unter dem Bilde einer



kreisförmigen Welle vorstellen wollen, in schiefer Richtung ac auf die hemmende Schicht trifft, so kommen natürlich die einzelnen gleich verdichteten oder vielmehr gleich schwingenden Theile dieser Welle nicht gleichzeitig, sondern nach einander auf der Oberfläche der Schicht an und treffen sie also nicht mehr in demselben Punkte,

sondern in mehreren nebeneinander. Während also die vom ersten Theilchen der Welle ac angeregte neue Welle bereits bis e vorgeschritten ist, beginnt erst ein ferneres Theilchen f seine neue Welle zu erzeugen. So entsteht eine Reihe von kleinen Wellchen von abnehmender Größe, die sich zu einer neuen cf zusammensetzen, die natürlich nicht mehr in der früheren Richtung ac, sondern in einer veränderten cd fortschreitet. Die schief einfallende Welle wird also in dem fremden Mittel, das sie aufnimmt, von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt, sie wird gebrochen.

Was die Theorie lehrt, ist freilich nicht immer auch in der Erscheinung und für unsre sinnliche Wahrnehmung nachzuweisen. Wahr ist es nichts destoweniger, denn die Vernunft steht über dem Urtheil der Sinne. Ist es durch zahlreiche Thatsachen bewiesen, daß der Schall auf Wellenbewegungen beruht, so wird er auch bei seinem Durchgange durch verschieden dichte, verschieden leitende Mittel gebrochen und zwar von seiner ursprünglichen Richtung der senkrechten bald genähert, bald noch mehr von ihr entfernt, je nachdem seine Fortpflanzung in dem zweiten Mittel langsamer oder schneller als in dem ersten geschieht. Da dieses Brechungsverhältniß allein von dem Verhältniß der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Schalles in zwei verschiedenen Mitteln abhängt, so bleibt es natürlich unveränderlich dasselbe für dieselben Mittel. Wenn daher Schallwellen in ein Mittel übergehen, in dem sie sich mit größerer Geschwindigkeit bewegen würden, z. B. aus der Luft in Wasser, so muß es natür-

lich eine Grenze geben, wo die Schallwellen so schief auffallen, daß sie gar nicht mehr durch das neue Mittel fortgeleitet werden können, sondern gänzlich zurückgeworfen werden. Wenn wir uns auch daraus erklären können, daß manche flach auf das Wasser treffende Töne, Rufe vom Ufer her zum Beispiel, fast gar nicht unter dem Wasser gehört werden, daß aber eben wegen dieser vollkommnen Zurückwerfung dagegen Laute, die flach über das Wasser hinschallen, so außerordentlich stark am andern Ufer vernommen werden, so müssen wir den genaueren Nachweis aller dieser Gesetze und Erscheinungen doch den feineren Prüfungen des wissenschaftlichen Physikers überlassen. Aber Rechenschaft müssen wir uns wenigstens davon geben, weshalb sich diese Erscheinungen so gänzlich dem Urtheile unsrer Sinne entziehen.

So lange die Wasserwellen auf dem See dort unten das Ufer noch nicht erreicht hatten, war es uns leicht, aus ihrer Krümmung und der Richtung ihres Fortschreitens auf den Punkt zurückzuschließen, von dem sie ausgegangen waren. Wenn aber die Wellen erst an das Ufer geschlagen oder in den engen Mühlkanal eingedrungen waren, da sahen wir eine so gewaltige Störung durch die Durchkreuzung der zurückgeworfenen und gebeugten Wellen eintreten, daß es uns in dem Gewirr der zahllosen, scheinbar um neue Mittelpunkte kreisenden Wellen nicht mehr möglich war, den ursprünglichen Erregungspunkt und die ursprüngliche Richtung ihres Laufes zu errathen. So wird es uns auch mit den Schallwellen gehen. Auch sie werden zurückgeworfen, auch sie

werden gebeugt, wenn sie durch Oeffnungen hindurchgehen oder um Ecken sich herum verbreiten. Das brauchen wir nicht bloß der Theorie zu Gefallen glauben, davon überzeugt uns das Ohr. Wenn wir von unserm Zimmer aus eine Militairmusik auf der Straße hörten, so vernahmen wir ihre Töne noch recht wohl, wenn sie längst um eine Ecke in eine andre Sraße eingebogen war; und wenn wir noch glauben könnten, daß der Schall durch die vielen dazwischen liegenden Mauern der Häuser uns zugeleitet worden wäre, so mußte uns doch die schnelle Abnahme seiner Stärke, an welcher wir das Einbiegen um die Straßenecke sofort erkannten, belehren, daß wir hier nur gebeugte, nicht direkte Schallwellen empfanden. Wenn also eine Schallwelle ungestört und ungebeugt unser Ohr trifft, — und das kann nur bei kleinen Entfernungen stattfinden, — so sind wir auch im Stande, genau über ihre Richtung und ihren Ursprung zu entscheiden. Wenn wir aber glauben, auch bei weitherkommenden, mannigfach gehemmten Schallwellen durch das Gehör mit Gewißheit über ihre Richtung entscheiden zu können, so beruht das auf einer Täuschung. Nicht das Ohr, sondern unsre Vernunft bestimmt dann unser Urtheil. Aus sämmtlichen uns bekannten Umständen schließen wir auf den Ursprung des Tones, und wie oft täuschen wir uns noch, wo die Thatsachen, die unser Urtheil leiten könnten, uns gar nicht oder doch nur unvollständig bekannt sind. Erinnern wir uns der Wellen, die wir in dem kleinen Mühlengerinne erregten! Jene kleinen leichten Kräuselungen, die das fallende Blatt ver-

anlaßte, pflanzten sich gradlinig von der Mündung des Gerinnes auch durch den breiten Kanal fort, während die langen Wasserwogen, welche der fallende Stein erregte, sich von jener Mündung aus kreisförmig nach allen Richtungen verbreiteten. Solchen langen Wogen gleichen die Wellen des Schalles, und ihre Messung wird uns das bestätigen. Darum biegt der Schall durch jede Oeffnung und um jede Ecke, darum benutzt er jeden offenen Weg, um zu unserm Ohre zu dringen, er mag grade oder krumm sein; darum ist aber auch unser Ohr so ungeschickt zu genauen Ortsbestimmungen, da es eben ohne Unterschied von allen Seiten her auf graden und krummen Wegen die Töne empfängt.

Wer wüßte nicht aus eigner Erfahrung, welchen Täuschungen in Betreff der Richtung des Schalles unser Ohr unterworfen ist! Gesetzt, wir kämen in eine fremde Stadt, wir sähen von den Fenstern des Gasthauses aus gerade gegenüber einen altersgrauen Thurm, und wir vernähmen nun in der Stille der Nacht deutlich und wie aus nächster Nähe herüberklingend das Läuten einer Glocke; wer würde nicht darauf schwören, daß das Geläut von jenem Thurm her erschalle! Aber staunend erfahren wir am andern Tage, daß jener Thurm nur eine Ruine, seit Jahren seiner Glocken beraubt sei, und daß der Glockenklang von einer Kapelle herkam, die hinter Häusern versteckt, fern und in entgegengesetzter Richtung liege. Wem fallen nun nicht bei dieser Täuschung, zu der uns nur die gewohnte Verknüpfung von Thurm und Glocke verleitete, jene künstlichen Täuschungen ein, durch

welche einst schlaue Priester eine leichtgläubige Menge bethörten, indem sie aus unsichtbarem Munde, aus Tempelmauern, aus dem Erdboden, aus Götterstatuen Orakelsprüche erschallen ließen! Wer dächte nicht dabei an die unschuldigern Täuschungen, mit denen sonst Taschenspieler auf öffentlichen Märkten die staunenden Zuschauer ergötzten, an die Kunststücke des wahrsagenden Türken oder des unsichtbaren Mädchens! Es waren allerdings wirkliche Menschenstimmen, die man bei solchen Täuschungen vernahm; aber durch künstliche Mittel wurden sie so zum Ohre geleitet, daß man den sprechenden Mund an einem ganz andern Orte vermuthen mußte, als wo er sich befand. Wir wissen, daß in engen Röhren die Schallwellen keine Zerstreuung erleiden können, wie im freien Raume, daß sie sich also ununterbrochen und ungeschwächt durch sie fortpflanzen und am Ende dem Ohre so vernehmlich als am Anfang erscheinen müssen. Solche Schallröhren leitete man nun aus einem Nebenzimmer durch Wände und Fußböden hindurch in das Innere der sprechenden Figur bis zu ihrem Munde oder an eine durchbohrte dünne Stelle des Fußbodens oder der Wand, und jedes Wort, das im entfernten Zimmer in die Oeffnung dieser Röhre hineingesprochen wurde, mußte so gehört werden, als ob es aus dem Munde des Türken oder aus dem Fußboden komme. In weitläufigen Fabrikgebäuden und auf Schiffen wendet man noch jetzt bisweilen diese Schallleitungen an, um zwischen dem Geschäftslokal des Dirigenten und den entlegenen Arbeitssälen oder zwischen der Kajüte des Capitäns und dem

Mastkorbe eine bequeme Communication zu unterhalten. Etwas Aehnliches zeigen Sprach- und Höhrrohr, nur daß diese kürzer sind und sich vom Munde oder Ohre aus kegelförmig erweitern, so daß die Schallwellen in ihnen durch wiederholte Zurückwerfung von den Wänden in eine einzige Richtung vereinigt werden.

Als vorhin der Frühlingssturm über den See dahin jagte und seine stille Fläche in ein wildes Wellengetümmel verwandelte, aus dessen kräuselndem Gewirr hin und wieder einzelne mächtige Wellen hervorbrachen und schäumend zum Ufer rollten oder einander begegnend machtlos in die Tiefe versanken; wer hätte es da wagen wollen, auch nur einer einzigen Welle ihren ersten Ursprung nachzuweisen! So geht es uns hier in dem Meere der Töne, das rings uns umgiebt. Der Sang der Lerchen, das Rauschen des Windes, das Plätschern des Wassers, der Glockenklang und das frohe Lied des Wandrers, es sind nur einzelne kräftige Wellen, die aus dem allgemeinen Getümmel an unser Ohr schlagen. Ihre Wellenkreise sind durcheinander geflossen, haben einander durchkreuzt, sind tausendfach von den vielgestaltigen Ufern und Gründen dieses tönenden Meeres zurückgeworfen, sind gebeugt und gebrochen; und ein Wunder ist es, daß wir sie noch einzeln in diesem Gewirr zu empfinden vermögen. Wer wollte sich also vermessen, durch sein Ohr über jene zarten Ablenkungen entscheiden zu wollen, welche die Richtung solcher Wellen bei ihrem Durchgange durch die verschiedenen Körper erleidet! Genug, die Theorie, d. h. das allgemeine Vernunftgesetz lehrt uns die Brechung

der Schallwellen; überlassen wir es dem Experiment des Physikers sie thatsächlich nachzuweisen! Noch ist es ja nicht allzu lange, daß man nicht einmal die Wellenbewegung des Schalles ahnte, für deren Dasein wir jetzt bereits die handgreiflichsten Beweise haben. Damals, wo man nicht einmal im Geiste, geschweige denn mit dem sinnlichen Ohre, den Kreuzungen der Wellen zu folgen vermochte, mußte freilich so manche Erscheinung ein ungelöstes Räthsel bleiben. Was hätte man wohl zu der Beobachtung gesagt, daß zwei Schallempfindungen einander völlig aufheben, zwei Töne Stille erzeugen könnten! Und doch giebt es unleugbare Thatsachen dieser Art. Man nähere eine tönende Stimmgabel dem Ohre und drehe sie herum; und man wird den Ton nur wahrnehmen, so oft die Fläche einer Zinke dem Ohre zugewendet ist, während der Ton verschwindet, wenn eine Kante dem Ohre gegenübersteht. Und doch ist die ganze Stimmgabel in steter, gleichmäßiger Schwingung! Wir erinnern uns dabei einer Beobachtung, die wir bisweilen am Klavier machten, wenn wir zwei etwas von einander verschiedene Töne zugleich anschlugen, oder wenn wir beim Stimmen des Klaviers die Stimmgabel mit einer Saite zusammen tönen ließen. Wir vernahmen ein zeitweises An- und Abschwellen des Tones, gleichsam eine Reihe von Stößen, die oft selbst in ihrer schnellen Aufeinanderfolge sich zu einem dritten Tone vereinigten. Wie sollen wir uns ene Stille oder dieses abwechselnde Wachsen und Schwinden des Tones erklären, wenn wir nicht ein Vorbild dieser Erscheinung fänden in jenen verdop-

pelten Bergen und Thälern der sich kreuzenden Wasserwellen des Sees, wenn wir nicht dort bereits jene seltsame Erscheinung kennen gelernt hätten, daß zwei mächtige Wellen in ihrer Bewegung die stille Spiegelfläche herzustellen vermögen! Es ist dieselbe Erscheinung der Interferenz, der wir hier im Reiche der Töne wieder begegnen. Auch zwei Schallwellen stärken oder schwächen einander in ihrer Durchkreuzung, je nachdem sie einander gleich oder entgegengesetzt gerichtet sind. Jeder schwingende Stab muß zu gleicher Zeit nach der einen Richtung eine verdichtete, nach der entgegengesetzten eine verdünnte Luftwelle erregen. Bei den zwei gleichschwingenden Zinken der Stimmgabel muß es darum Stellen geben, wo diese Verdichtung und Verdünnung einander aufheben, wo also gar kein Schall wahrgenommen wird. Bei den zugleich tönenden Saiten des Klaviers konnten die beiden Wellensysteme in der Durchkreuzung einander zwar nicht ganz aufheben, denn die Saiten und darum auch ihre Schwingungen waren etwas verschieden; aber sie verstärkten und schwächten einander in den zusammenstoßenden Verdichtungen und Verdünnungen und erzeugten jene neue Empfindung für das Ohr, den Stoß. So wird für uns das anscheinende Wunder, die Erzeugung der Stille aus der Vereinigung zweier Töne, zu einem der sichersten Beweise für die Richtigkeit unserer Anschauung, für das Dasein eines wogenden, klingenden Meeres in Luft, in Mauern und Metallen.

Der Abend bricht herein, und seine Kühle mahnt uns, den trauten Platz auf dem Hügel am See zu ver-

lassen. Wir hatten nicht geträumt, versunken im Anschauen der erwachenden Landschaft; ernst und nüchtern war der Gegenstand unsrer Frühlingsbetrachtung. Und doch was war ihr Resultat? Hat sie uns den ersehnten Frieden gebracht, die Lösung jener zahllosen Fragen, die unser Innres durchstürmten? Sie hat uns wohl den Blick in eine neue Welt geöffnet, hat uns in dem wogenden See den Spiegel jenes ungeahnten Oceans gezeigt, dessen Wellen im Liede der Lerche zu uns strömten. Aber noch immer sehen wir ein wildes Durcheinander. Und doch muß es auch in diesem Wellengetümmel eine Harmonie geben; es muß noch ein Geheimniß schlummern in diesem Reiche der Schallwellen, das uns den Reiz der Töne und ihre zauberische Gewalt erklärt. Auch das Wellengetümmel des Sees gestaltete sich vor unserm Auge zu einer schönen Harmonie; warum sollte es nicht das der Töne?

Die Töne schweigen; denn nur dem Auge gilt der feierliche Scheidegruß des schwindenden Tages. Das Abendroth taucht am Horizont empor; leise zittern die letzten goldnen Strahlen über dem Grün der Saaten, und rosiger Schimmer überhaucht die fernen Berge und Wolken. Ein neues Reich des Empfindens erschließt sich uns und eine neue Fülle der Gedanken. Wir flohen das Wellengetümmel des Sees, um in der Welt der Töne die Harmonie zu finden, und jetzt lockt uns die Welt des Lichts und der Farben, in ihr Aufschluß zu suchen über das Räthsel der Wellen in der Natur.

Drittes Kapitel.

Die Licht- und Wärmewellen.

Was ist es denn eigentlich, was unser Gemüth so erregt, wenn die langen Schatten über die duftige Flur sich lagern, wenn im Dämmerschein die fernen Berge mit den Wolken des Abendhimmels verschwimmen, und hie und da der funkelnde Widerschein eines Fensters oder einer Thurmspitze uns den letzten Scheidegruß der Sonne zuwinkt? Sind es die Formen oder die Farben, die in ihrem harmonischen Zusammenwirken diesen Zauber auf uns ausüben? Ist es die grobe, tastbare Körperwelt um uns her oder ein andres, zarteres, geheimnißvoll über den Dingen schwebendes Etwas, dessen Berührung uns so gewaltig ergreift? Als das Reich der Töne seine Reize über uns ergoß, unser Gefühl überwältigte, unsre Gedanken fesselte, da fragten wir freilich nicht, welche Körper es seien, die durch ihre Klänge eine Welt voll wechselnder Empfindungen und Regungen in uns hervorriefen. Und geht es uns nicht ähnlich jetzt, wo die Welt des Lichts uns ihre rosigen Thore öffnet? Sind die Dinge um uns, ihre Stoffe und Formen, nicht noch dieselben, sind die Berge und Wälder, der See und die Saaten nicht noch dieselben, die sie vor wenigen Stunden im vollen Glanze des Tageslichts oder im Dunkel der vorüberziehenden Frühlingsschauer waren? In der Beleuchtung liegt der Reiz dieser Landschaft. Der Wechsel des Lichtes ist es, der den Umschwung

unsrer Gefühle bewirkte. Ganz anders ist der Eindruck der Landschaft, wenn durch die dunstreiche Atmosphäre das Licht der untergehenden Sonne mit röthlichem Schimmer Wald und Berge umströmt, als wenn gleich leichten Schleiern die Nebel des Morgens in duftige Ferne entrücken, was sonst dem Auge mit scharfen Umrissen nahe liegt; ganz anders, wenn die Landschaft sich im gleichmäßigen Lichte eines wolkenfreien Himmels vor uns ausbreitet, als wenn ihr hier das Halbdunkel eines Wolkenschattens, dort der volle Glanz der Sonne schroffe Contraste verleihen; ganz anders endlich im Lichte des Tages, als wenn die bleichen Strahlen des Mondes aus zerrissenem Gewölk auf die nächtliche Landschaft fließen, und die dunkleren und schärferen Schatten uns die Gegenstände massenhafter und bestimmter begränzt erscheinen lassen. Was also diese wunderbaren Verwandlungen in der Natur und gleichzeitig in unsern Gefühlen bewirkt, das ist die Beleuchtung, das Licht.

Was ist aber dieses Licht? Gleicht es etwa dem Schalle, der aus dem Zusammentreffen gewisser Schwingungen mit dem lebendigen Hörnerv sich erzeugte? Aber wenn der Donner rollte und wie die Mauern unsrer Wohnungen auch unsre elastische Brust durchbebte, da hätten wir dieses Beben auch empfunden, wenn wir keinen Gehörnerv gehabt hätten, und wenn auch diese Empfindung freilich wohl nicht die Form des Tones oder des Geräusches, wie es unser Ohr vernahm, angenommen hätte, so konnten wir doch kaum zweifeln, daß es dieselben Erzitterungen waren, die sich auf einer Flüssigkeit

fortpflanzten, in welcher die feinsten Fasern unsres Gehörnervs sich ausbreiten. Bei dem Lichte kann von einem solchen sinnlichen Beweise nicht die Rede sein. Kein Sinn verräth uns jemals Schwingungen, welche sich zu Licht umgestalten. Allerdings scheint das Licht in demselben Grade dem lebendigen Auge allein anzugehören, wie der Schall dem lebendigen Ohre. Der Blinde kennt keine Farben. Sein Auge sieht nicht den Strahl der Sonne noch das milde Licht des Mondes, es sieht nicht den Schiller des bunten Schmetterlings, der über dem farbigen Wiesenteppich schwebt, nicht die Gluth der Abendröthe noch die Schatten der Nacht, die sich über die stiller und stiller werdende Erde breiten. Und doch sieht auch das Auge des Blinden Licht und Dunkel und Farben: bunte Bilder der Phantasie. Auch der Blinde bildet sich tastend eine Vorstellung von Raum und Formen und umsäumt sie mit Licht und Farben, die er zwar nicht von außen, die er von innen entlehnt, und statt des Wechsels der äußeren Welt in Beleuchtung und Farben gestaltet sich der Wechsel seiner eigenen Zustände zu einem Spiele farbiger, hellerer und dunklerer Bilder. So unterscheidet sich unser Sehen von dem des Blinden nur dadurch, daß uns die äußeren Gegenstände, jenem die Bilder der Phantasie von Licht und Farben umflossen erscheinen.

Also, wäre das Licht nichts außer uns, so gäbe es kein Licht, keine Farbe ohne das Auge? So wäre es nur der Hauch des eignen Lebens unsres Sinnes, den wir über die Außenwelt ausströmen, nur die gesetzliche

innere Thätigkeit, welche uns den Genuß des Schönen draußen gewährte? Wenn wir mit einer Nadel unsre Haut berühren, so empfinden wir einen Stich, einen Schmerz. Diese Empfindung gehört uns allein an, beruht auf der Berührung unseres Nerven mit der Nadel. Aber die Ursache der Empfindung liegt draußen in der Nadel. Grade so geht es uns mit unsrer Licht- und Farbenempfindung, unsrem Sehen. Die Empfindung gehört uns allein an, Licht und Farbe existiren als solche so wenig wie der Schmerz. Aber die Ursachen, welche, indem sie fortwirken bis auf unsre Sehnerven, diese Empfindung erregen, sind wirklich. Und wenn wir diese Ursachen nicht so handgreiflich mit den andern Sinnen zu erfassen vermögen, wie etwa die stechende Nadel oder selbst die Schwingung der tönenden Glocke, so folgt daraus noch nicht, daß Licht und Farbe der Dinge nur eine trügerische Phantasmagorie, ein Gaukelspiel unseres Sinnes sei, dem in der äußern Natur nichts Wesentliches entspreche. Wie jede Empfindung, so kann auch die des Lichts nur durch die Berührung äußerer Ursachen mit unsrem Sehnerv durch Mittheilung äußerer Bewegungen oder durch stoffliche Veränderungen von außen her bewirkt werden. Etwas Andres freilich, als was wir im alltäglichen Unverstande Licht nennen, mag es sein, was von dort her, von dem rosig glühenden Horizonte, von den goldig schimmernden Bergen und Wäldern zu uns herüber dringt und in unserm Auge die Wunderwelt des Lichts und der Farben schafft!

Nur zwei Wege sind uns denkbar, auf denen un-

fre Sinne von entfernten Körpern Kunde erhalten können. Entweder kleine körperliche Theile dringen selbst zu den Nerven unsrer Sinne und verrathen sich ihnen durch unmittelbare Berührung, oder es sind Bewegungen, die in der Ferne angeregt, durch die zwischenliegenden Räume fortgepflanzt, endlich zu den Nerven übergehen und in deren Erschütterung das Dasein der fernen Bewegungsursachen bekunden. Das Stückchen Moschus in dem verschlossenen Schranke wird von Tage zu Tage kleiner und verflüchtigt sich zuletzt vollkommen bis zum Verschwinden; aber die unendlich feinen Theilchen, die sich beständig ablösen und nach allen Richtungen verbreiten, werden von der Luft zu den Nerven unsrer Nase getragen und erregen hier die Empfindung des Geruches. Ganz anders ward uns die Kunde von der Glocke des fernen, hinter Berg und Wald versteckten Kirchthurms. Wir hörten ihr Läuten. Der Klöpfel, der sie traf, erschütterte ihre Wände und versetzte sie in eine schwingende Bewegung, die sich zunächst nur den benachbarten Luftschichten, allmälig aber weithin der ganzen Atmosphäre und so zuletzt auch den Häuten und Flüssigkeiten unseres Ohres mittheilte. Kein Metalltheilchen drang zu unserm Ohre, und kein Gran verlor die Glocke durch ihr Läuten an ihrem Gewichte, und wenn es hundert Jahre gewährt hätte.

Auf einem dieser Wege nur kann uns auch die Kunde des Lichts werden. Entweder muß uns die leuchtende Sonne gleich dem riechenden Körper unaufhörlich von allen Punkten ihrer Oberfläche und mit blitzesschneller

Geschwindigkeit stoffliche Theilchen zusenden und durch den Eintritt dieser Sonnenstäubchen in unser Auge die Empfindung des Sehens hervorbringen, oder es muß dem Schalle der Glocke ähnlich von der Sonne beständig eine Art schwingender, wellenförmiger Bewegung ausgehen, welche den unendlichen Raum durchfliegend sich endlich unsrer Netzhaut mittheilt, wie die Schallwellen der Glocke an das Trommelfell schlugen.

Für welchen dieser Wege sollen wir uns entscheiden? Auf beiden sehen wir die gefeiertesten Namen der Wissenschaft glänzen, auf jenem die eines Keppler, Newton, Laplace, auf diesem die eines Huygens, Euler, Young, Fresnel und der ganzen Schaar unsrer heutigen Physiker. Für beide sehen wir Thatsachen der Natur und der Vernunft mit mehr oder minder Glück sprechen, gegen beide drängen sich uns Bedenken auf, die selbst den Mitteln unserer Wissenschaft nicht ganz zu weichen scheinen. Wenn das Licht auf einem Ausströmen materieller Sonnenstäubchen beruht, wenden wir ein, so müßte ein solches Sonnenstäubchen bei der außerordentlichen Geschwindigkeit seines Fluges, die wir, ohne zu messen, wohl dem Millionenfachen der Geschwindigkeit einer Kanonenkugel gleichsetzen können, auch wenn wir die Größe des Sonnenstäubchens nur als den millionenfachen Theil einer Kanonenkugel annehmen, gleich dieser Mauern umwerfen. Und wenn die Sonne seit den Millionen Jahren ihres Bestehens nach allen Richtungen des Raumes hin und mit solcher Geschwindigkeit ihre Stäubchen entsandte, so müßte ihre Masse sich doch gleich dem Moschuskörnchen bereits

erschöpft oder vermindert haben. Aber was hindert uns, diese Stäubchen noch viele Millionen mal kleiner und so unendlich klein anzunehmen, daß sie trotz ihrer Geschwindigkeit selbst in dem zarten Organe des Auges weder eine empfindliche mechanische Wirkung auszuüben noch die Sonnenmasse durch ihr Ausströmen so beträchtlich zu vermindern vermöchten, daß die Beobachtung unsrer zwei Jahrtausende diese Verminderung zu messen im Stande wäre! Aber abgesehen davon, müßten nicht bei der unendlichen Zahl von Lichtstrahlen, die selbst durch den kleinsten Spalt noch dringen, die sich in einem so engen Raume durchkreuzenden materiellen Theilchen mit solcher Heftigkeit auf einander stoßen, daß sie ihre Richtungen auf alle mögliche Art verändern und ordnungslos durcheinander schwirren müßten? Aus dieser Verlegenheit rettet uns die Eigenthümlichkeit unseres Auges, jeden Lichteindruck eine gewisse Zeit, wenigstens ein Hunderttheil einer Secunde lang festzuhalten, und in diesem kleinen Zeitraume vermag der Lichtstrahl Hunderte von Meilen zu durchlaufen. Die einzelnen Stäubchen, welche den Lichtstrahl zusammensetzen, könnten also um solche Hunderte von Meilen getrennt hinter einander folgen, um doch noch fortdauernde Lichteindrücke hervorzubringen, und die Gefahr des Zusammenstoßens und gegenseitigen Störens wäre damit beseitigt. Aber neue Bedenken regen sich gegen jene Annahme ausströmender Lichtstäubchen. Auch das materielle Lichttheilchen muß der allgemeinen Anziehung der Materie unterworfen sein; und kaum durch den leuchtenden Körper fortgeschleudert, müßte es durch

seine Anziehung wieder dahin zurückgezogen werden. Eine allmälige Verminderung der Geschwindigkeit müßte also unausbleiblich die Folge sein. Aber alle Beobachtungen der Wissenschaft lassen uns auf die vollkommene Uebereinstimmung in der Geschwindigkeit des Lichts schließen, mag es nun von den fernen Gestirnen oder von unsern Kerzen, von der blendenden Sonne oder von den schimmernden Leuchtkäfern ausgehen. Wir könnten uns nun zwar mit der Annahme helfen, daß die leuchtenden Körper Theilchen von allen möglichen Geschwindigkeiten aussenden, daß aber nur eine ganz bestimmte Geschwindigkeit fähig mache, die Erscheinung des Lichts zu bewirken, und daß darum allerdings eine Verminderung der Geschwindigkeit im Raume eintreten könne, daß aber diese langsamen Strahlen ebenso wenig als die ursprünglich zu schnellen zu unsrer Wahrnehmung und Beobachtung gelangen. Aber diese Annahme widerstreitet so offenbar dem ersten Gesetze der Naturordnung, ihrer Einfachheit, daß sie uns wohl veranlassen könnte uns nach dem andern Wege umzusehen, auf welchem das Licht zur Kunde unseres Auges gelangen kann.

Aber sieht es denn mit dem andern Wege, sieht es mit der Wellenbewegung des Lichts besser aus? Was sollen wir von dem Lichtäther denken, dem geheimnißvollen Träger dieser zarten Bewegung, den noch keine Wage und kein chemisches Reagens nachzuweisen vermochte? Wie steht es selbst mit der einfachsten aller Erscheinungen des Lichts, mit seiner geradlinigen Fortpflanzung? Wenn das Licht eine Schwingung ist wie die Schwingung des

Schalls, so muß es sich auch wie dieser nach allen Richtungen fortpflanzen. Wie wir den Klang der fernen Glocke auch hinter den Bergen, die sie dem Auge verbergen, vernehmen, so müßten wir auch das Sonnenlicht hinter jedem undurchsichtigen Körper wahrnehmen können. Aber es giebt in der That keinen völlig dunkeln Schatten, und wie die Schallwellen sich um die Widerstände herumbeugten, wie die Wasserwellen aus dem engen Kanal sich nach allen Seiten, selbst rückwärts auf der weiten Fläche des Sees ausbreiteten, so beugen sich auch zahlreiche Lichtstrahlen um die Grenzen der undurchsichtigen Körper und vermindern das Dunkel ihrer Schatten. Aber so lange die Verbreitung der Lichtwelle ungehemmt ist, kann sie uns als Strahl in der geraden Richtung auf den leuchtenden Punkt hin bemerkbar werden. Allerdings wird auch jedes Theilchen der Lichtwelle wie das der Wasser- oder Schallwelle beständig Mittelpunkt neuer Erschütterungen, aber die neuen Wellen, die nach allen Richtungen von ihm ausgehen, kreuzen und zerstören sich so vollständig, daß nur die in der ursprünglichen Richtung fortschreitende Welle übrig bleibt. Nur an den Rändern undurchsichtiger Körper kann dieses gegenseitige Aufheben der Seitenschwingungen nicht vollkommen stattfinden, und die neuen Lichtwellen erleuchten eben die Ränder der Schatten.

Sollte es denn aber nicht eine einzige klare Thatsache geben, die mit unwiderstehlicher Gewalt uns zwänge, uns für die eine oder andre Theorie zu entscheiden? Theorien sind zwar im Allgemeinen nur mehr oder min-

der glückliche Versuche, eine gewisse Zahl bekannter Thatsachen zu verknüpfen; alle Theorie gleicht, wie Voltaire sagt, einer Maus, die durch neun Löcher schlüpft, um in dem zehnten stecken zu bleiben. Wenn aber alle Folgerungen, die man aus der Theorie zieht, mit der Erfahrung übereinstimmen, wenn sich die Zahl der Löcher, durch welche die Maus schlüpft, d. h. die Zahl der Prüfungen, denen die Theorie genügen muß, ins Unendliche vermehrt; dann erlangt die Theorie jedenfalls eine ganz andre Bedeutung, dann erhebt sie sich zur Würde eines mathematischen Gesetzes. Ein solches Gesetz aber ist wichtiger selbst als eine Entdeckung, denn es ist eine Quelle von Entdeckungen; und jede dieser gleichsam vorausgesagten und vorausberechneten Entdeckungen ist ein neuer Beweis für die Wahrheit der Theorie.

Die Wellentheorie ist ein mathematisches Gesetz; und die Erscheinungen, welche die Natur bieten muß, lassen sich aus ihr im Voraus entdecken. Eine einzige Thatsache in der Welt des Lichts, die sich als Folgerung dieser Theorie erweist und dem Wesen stofflicher Lichtstäubchen offen widerspricht, wird genügen, sie zum Gesetz zu erheben.

Das Wesen der Wellenbewegung besteht, wie wir sahen, in einem regelmäßigen Wechsel von entgegengesetzten, sich gegenseitig aufhebenden Zuständen, von Verdichtungen oder Verdünnungen, von Auf- und Nieder- oder Hin- und Herbewegungen. Diese Wechsel müssen wir nachzuweisen suchen, und wir werden es am besten, wenn wir ihre gegenseitige Vernichtung im Augenblicke

ihres Zusammentreffens zeigen. Zwei Lichtstrahlen müssen sich, so lehrt die Wellentheorie allein, unter gewissen Umständen vernichten, auslöschen, verdunkeln. Zwei zusammentreffende Lichtstrahlen müssen ebenso Dunkel erzeugen können, wie zwei zusammentreffende Wasserwellen die Ebene oder zwei Schallwellen Stille erzeugten.

Wenn wir einen Lichtstrahl durch eine enge Oeffnung auf ein weißes Blatt Papier fallen lassen, so sehen wir einen hell erleuchteten Punkt. Ein zweiter Lichtstrahl wird an einer andern Stelle des Papiers dasselbe bewirken. Lassen wir nun beide Lichtstrahlen auf einen Punkt zusammenfallen, so werden wir keinen Augenblick zweifeln, daß jetzt eine doppelt so helle Erleuchtung stattfinden müsse. Aber nun übergeben wir die beiden Lichtstrahlen den Händen des Physikers, und siehe, wie in Zauberhand verwandelt sich die Erscheinung. Noch geben die beiden einzelnen Strahlen leuchtende Punkte, und doch in ihrem Zusammentreffen erzeugen sie — nächtliches Dunkel! Dürfen wir unsern Augen trauen, ist es möglich, daß aus Licht und Licht Dunkel komme? So lange uns das Licht als Stoff gilt, muß freilich diese Verwandlung von Tag in Nacht als das größte aller Wunder erscheinen. Zwei gleiche Körper, zwei Sonnenstäubchen können nur eine verdoppelte Wirkung hervorbringen, können einander unmöglich vernichten. Aber das Wunder schwindet, wenn Wellen es sind, die durch den unendlichen Raum zu unserm Auge strömen, wenn Wellen es sind, die auf dem Papiere einander kreuzen. Die Fortpflanzung einer Welle durch eine Flüssigkeit, sei es nun

das Wasser oder die Luft oder selbst ein elastischer Körper, sei es also endlich auch jener räthselhafte, nur in den Theorien der Physiker bestehende Aether, den man als den Träger der Lichtwellen bezeichnet, besteht nun darin, daß den Theilchen der Flüssigkeit eine schwingende Bewegung ertheilt wird, vermöge deren sie sich nacheinander in zwei entgegengesetzte Richtungen verrücken. Es versteht sich nun von selbst, und wir haben es bereits bei Wasser- und Schallwellen bestätigt gesehen, daß eine Wellenreihe die Wirkung einer andern vollständig aufheben muß, sobald an jeder Stelle der schwingenden Flüssigkeit die Bewegung der ersten Welle mit der entgegengesetzten der zweiten Welle zusammenfällt. Dieselben Theilchen, die unter dem Einflusse einer einzigen Welle ungehindert fortschwingen würden, bleiben unter dem gleichzeitigen Einflusse der beiden gleichen Kräfte von entgegengesetzter Richtung in Ruhe. Die Bewegung wird durch die Bewegung aufgehoben; diese Bewegung aber ist — das Licht. Das ist die Lösung des Räthsels. Der Physiker hatte nichts weiter zu thun, als dem zweiten Lichtstrahl einen nur wenig von dem des ersten verschiedenen Weg anzuweisen, und der eine Lichtstrahl mußte den andern schwächen. Gelang es ihm, den Unterschied dieser Wegelängen genau der halben Wellenlänge gleich zu machen, so ward aus Licht Schatten, aus Tag Nacht, wie aus der Interferenz der Wasserwelle die Ebene, aus der Interferenz der Schallwelle Stille erzeugt ward. Wie der Physiker eine solche Aenderung zu Stande brachte, die unser Auge nicht zu entdecken vermöchte, wenn die

seltsame Thatsache sie nicht verriethe, das wollen wir später zu erfahren suchen. Daß aber diese Erscheinung nicht vereinzelt dasteht, daß sie nicht allein ein Kunststück des Physikers ist, das er erfand, um uns für seine Theorie zu gewinnen, dafür bürgt uns der Umstand, daß es wohl keinen Punkt des Raumes giebt, der völlig gleiches Licht enthält, keinen Punkt, wo nicht tausend Strahlen, durch mannigfache Störungen verändert, gebrochen und zurückgeworfen, in allen möglichen Richtungen einander kreuzen. Im Voraus eröffnet sich unserm Blicke ein Gebiet wunderbarer und doch durch diese Thatsache so einfach sich erklärender Erscheinungen, über welche das Auge bisher verächtlich als über flüchtige und nichtsbedeutende Farbenspiele hinwegschweifte.

Ein neuer Ocean taucht vor uns auf, weiter, unendlich weiter ausgedehnt, als die Atmosphäre, von den Nebelwelten des Himmels seine Wellen zu uns sendend, nicht im Donner der felserschütternden Brandung, sondern in jenen sanften Stößen, welche dem zartesten Organe unseres Leibes die liebliche Empfindung des Lichtes erregen. Auch in diesem Ocean müssen die Gesetze gelten, welche in den Schrecken der sturmgepeitschten See und im Zauber der Töne sich enthüllten, und wenn wir eine Bestätigung der Wellenbewegung im Reiche des Lichts bedürfen, so wird sie nichts sicherer als der Nachweis ihrer Gesetze gewähren. Unterschiede, denen wir hier begegnen, werden uns zugleich auf die eigenthümliche Natur des Lichts zu schließen gestatten.

Schon auf den ersten Blick müssen uns in der Bewegung des Lichts Aehnlichkeiten mit der Schallbewegung und selbst mit den Wogen des Wassers auffallen. Wo seinen Wellen kein Hinderniß entgegentritt, breiten sie sich stets kugel- und kreisförmig von dem Erregungspunkte aus und pflanzen sich an Stärke immer abnehmend mit bestimmter gleichförmiger Geschwindigkeit in das Unendliche fort. Wo sie auf feste Hindernisse stoßen, werden sie stets nach denselben Gesetzen zurückgeworfen; sie spiegeln die Gegenstände, wie das Echo den Schall wiederholte. In unendlich großer Zahl bewegen sich Wellensysteme in demselben Raume; sie kreuzen sich, ohne sich gegenseitig zu stören oder zu vernichten. Gleich dem Bilde der vom Winde mäßig bewegten Fläche des Sees, auf der wir von der Höhe des Hügels leicht die große Menge verschiedener großer und kleiner Wellenzüge unterscheiden konnten, von denen sie in verschiedenen Richtungen durchschnitten ward, gleich den zahllosen verschiedenen Tonwellensystemen, die ein Orchester gleichzeitig in Bewegung setzt, kreuzen sich Tausende von Lichtstrahlen in dem erleuchteten Saale, in der erleuchteten Welt, und richtig und unverändert kommt jeder an sein Ziel.

Aber eine halbe, oberflächliche Anschauung der Natur kann nie genügen, um Gesetze in der Natur aufzufinden. Man sagt wohl, die denkende, speculirende Vernunft des Menschen, die Philosophie sei es, welche diese Gesetze finde und aufstelle. Aber Jahrtausende hätten die Menschen denken, in Tausenden von philosophischen Systemen denken können; so lange sie die Welt nicht mit

andern Sinnen anschauten, als unsre Väter vor hundert Jahren, würden sie nimmermehr das Gesetz der Wellenbewegung des Lichts ausgesponnen haben. Die Verfeinerung, Verschärfung der Sinne führt zur Entdeckung der Naturgesetze, weil sie die verborgenen Erscheinungen der Natur aufdeckt. Das künstlich verbesserte Auge ließ regelmäßige Wechsel entgegengesetzter, sich aufhebender Zustände in der Fortbewegung des Lichtstrahls erkennen, und diese Thatsache, daß die Bewegung des Lichts keine einfach fortströmende, sondern eine in sich wechselnde ist, genügt uns, sie als Wellenbewegung zu bezeichnen.

Als wir am Ufer des Sees standen, da nannten wir die lautlos zu unsern Füßen hinschleichenden Wellen sterbende Zeugen längst vergangener, ferner Dinge. Der Stein war längst in die Tiefe versunken, der diese Wellen erregte. Selbst der Schall dünkte uns nur ein träger Bote aus der Ferne, der nur die Kunde längst geschehener Dinge uns zutrug. Wir hatten den Hammer fallen sehen, ehe wir seinen Schlag hörten. Sollte auch das Licht die Rolle eines solchen nachhinkenden Boten spielen; sollte auch, was wir sehen, streng genommen, nur Vergangenes, Entschwundenes sein; sollte in der fernen Sternenwelt wohl gar vor Jahrtausenden geschehen sein, was jetzt erst unser Auge trifft, und dem Steine im See gleich selbst eine Welt versunken sein, deren Wellen heute noch an unsre Netzhaut schlagen? Unsre tägliche Erfahrung lehrt uns nichts dergleichen, unsre Sinne nehmen Zeitunterschiede nicht wahr, welche das Licht ge-

braucht, um irdische Räume zurückzulegen. Vermag das Auge der Wissenschaft sie zu messen?

Könnten wir eine Erscheinung finden, die sich regelmäßig nach unabänderlichem Gesetze, und ohne ihren Ort wesentlich zu verändern, in bestimmten Zeiträumen wiederholte, und könnten wir uns dann während der Zwischenzeiten eine Strecke weit entfernen, weit genug freilich, daß es für die Geschwindigkeit des Lichts noch einige Bedeutung behielte, so müßten wir natürlich die wiederkehrende Erscheinung nicht mehr in den gleichen Perioden, sondern bei jeder Wiederkehr etwas verspätet beobachten, und diese Verspätung würde im Verhältniß zu der vergrößerten Entfernung natürlich die Geschwindigkeit des Lichts messen. Eine solche Erscheinung giebt es in der That, und sie gewährte schon vor 180 Jahren das Mittel zur Messung dieser geschwindesten aller Bewegungen. Wo anders giebt es regelmäßige und durch Gesetze bis auf Secunden und Zehntelsecunden bestimmte Erscheinungen als am Himmel? Dort steht der Jupiter mit seinen 4 Monden. Nach ewigen Gesetzen umkreisen diese ihn, wie der Mond unsre Erde, der nächste in 42 Stunden 28 Minuten. Bei jeder Umkreisung tritt dieser Mond seiner großen Nähe wegen einmal in den Schatten seines gewaltigen Hauptplaneten; der Astronom sieht ihn verfinstert. Genau wie der Lauf des Mondes sollten nun auch diese Verfinsterungen eintreten, und der Uhr und dem Auge des gewöhnlichen Beobachters würde es freilich auch so scheinen. Aber der Astronom sieht und mißt anders. Der dänische Astronom Olaus Römer beobachtete schon

im J. 1675, daß der Eintritt der Verfinsterung sich regelmäßig um 14 bis 15 Secunden verzögerte, wenn die Erde sich in ihrem Laufe vom Jupiter in gerader Richtung entfernte. Was war also einfacher, als diese Verzögerung aus der Zeit zu erklären, welche das Licht vom Jupiter zum Durchlaufen dieses größern Raumes gebrauchte! Die Erde hatte sich aber in den 42 Stunden 28 Min. um 590000 Meilen entfernt, das Licht hatte also in jeder Secunde ungefähr 42100 Meilen zurückgelegt. Das ist freilich eine Geschwindigkeit der Bewegung, wie sie uns für irdische Verhältnisse kaum meßbar erscheint, die millionenmal die Geschwindigkeit des Schalles, 10100mal den Flug der Erde auf ihrer Bahn übertrifft! Und doch erlangt diese Blitzesschnelle Bedeutung in den Räumen des Himmels, und wenn uns auch noch die 8 Min. 3 Sec. für die 21 Millionen Meilen von der Sonne zu uns winzig erscheinen, so muß es uns doch mit Staunen erfüllen, wenn vom nächsten Fixsterne der Lichtstrahl $3\frac{1}{2}$ Jahre die Räume durcheilen muß, um zu uns zu gelangen, und mit dem Fluge des Lichts erlahmt endlich der Flug des Gedankens, wenn Tausende und Millionen von Jahren vergehen müssen, ehe das Licht uns Kunde bringt von den Nebeln der Himmelsferne!

Dann freilich ist es kein theoretischer Traum mehr, der uns auch das Licht gleich der Welle am Ufer, gleich dem Schalle des Hammerschlags als einen hinkenden Boten längst vergangener Dinge erscheinen ließ. Wie Manches ist vielleicht längst entschwunden, ehe seine letzte

Lichtwelle unser Auge trifft! Jene flimmernden Sterne sind nur die abgelösten Bilder einer vieltausendjährigen Vergangenheit, und die Welten, die sie abspiegeln, sind vielleicht längst andre geworden, längst zertrümmert, und nur die kurzen Jahrtausende unsrer Beobachtung erfuhren davon nichts. Könnten wir uns im Gedanken aufschwingen zu jenen Räumen und von Welten zu Welten eilen, könnten wir dann die Schärfe unserer Sinne bis zur äußersten Grenze teleskopischen Sehens übernatürlich erhöhen, so würde sich die ganze Geschichte unsres Weltalls und unsrer Erde wie ein Gemälde vor unsern Blicken aufrollen. Wir würden ja allen den Lichtstrahlen begegnen, die von Augenblick zu Augenblick seit Millionen von Jahren bis heut von unsrer Erde und von den Sternenwelten ausgegangen sind, und die uns die Bilder aller dieser Zeiten abspiegeln würden von den wirbelnden Nebeln des ersten Chaos und der Feuergeburt unsrer Erde bis zu den kleinlichen Spielen und Kämpfen, die man die Geschichte des Menschen nennt.

In einer Welt, wo alle irdischen Maaße schwinden, wo Jahrtausende als flüchtige Augenblicke erscheinen, mag wohl der eilende Flug des Lichts sein Maaß finden. Selbst die wenigen Millionen von Meilen, welche die Erde in ihrem jährlichen Laufe im Weltraume durchschweift, mögen für die feinen Beobachtungsinstrumente der Astronomen sichtbare Spuren am Himmelsgewölbe zurücklassen als Bilder und Zeugen des erlahmten Lichtstrahls, der unsrer Erde nicht zu folgen vermochte. Wenn wir auf

einem Dampfschiffe den Strom hinabfuhren, empfanden wir bald, wie derselbe Wind, der soeben noch von der Seite her wehte und den Rauch des Schornsteins zum jenseitigen Ufer hinübertrieb, allmälig anfing, sich zu wenden und endlich fast von vorn her uns entgegen zu blasen. Aus der vereinten Bewegung des Schiffes und des Windes erklärte sich uns diese Richtungsänderung des Zuges. Selbst der Flug der Kanonenkugel würde dies Gesetz nicht aufhalten, würde diese Ablenkung erfahren. Eine Kanonenkugel, welche durch die beiden Seiten des schnellsegelnden Schiffes schlüge, würde scheinbar nicht genau in der Richtung des Schusses das Schiff verlassen. Auch in dem Augenblicke, der zwischen der Zerschmetterung der einen und der andern Schiffswand verfließt, hat das Schiff sich bereits vorwärts bewegt, und die Abweichung der Kanonenkugel von ihrer Richtung, ihr Zurückbleiben läßt uns sogar auf die Größe ihrer Geschwindigkeit schließen. Aber auch das Licht, wenn es eine Bewegung hat, muß eine solche Ablenkung zeigen, wo es einen fliehenden Körper trifft; und mag auch die gewöhnliche Breite eines Schiffes nicht hinreichen, diese Abweichung zu messen, so giebt es andere riesige Schiffe im Weltenraum, die mit gewaltiger Eile seine Wogen durchstreichen.

Unsere Erde, ein solches großes Weltenschiff, trägt uns alljährlich viele Millionen Meilen dahin. Das Licht des fernen Sterns ereilt uns auf dieser Fahrt, es durchfliegt unser Fernrohr, mit welchem wir den Stern unverwandt auf der Reise verfolgen. So kurz auch die Zeit sein

mag, eine Zeit ist es immer, welche der Strahl gebraucht, um den Brennpunkt des Fernrohrs zu erreichen, und in dieser kurzen Zeit ist jedenfalls das Fernrohr bereits von der segelnden Erde um eine wenn auch noch so kleine Strecke davon getragen. Der Lichtstrahl kommt nicht mehr genau in derselben Richtung in unser Auge, in welcher er in das Fernrohr einfiel, und wir sehen den Stern also nicht mehr genau an demselben Punkte, wo er wirklich steht. Wie klein uns auch diese Abweichung, wie unmeßbar selbst für unsre feinsten Instrumente erscheinen mag; sie wiederholt sich viele Millionen mal auf unsrer Reise, und die Summen dieser Abweichungen sind meßbar, wenn es die einzelnen nicht waren. Am Ziele der Erdbahn sieht der Astronom in der That den Stern um eine gewisse Größe, wenn auch nur um Secunden oder Zehntelsecunden in der Richtung vorgerückt, in welcher die Erde das Fernrohr trug. Bei der jährlichen Rückkehr von der Reise durch den Weltraum hat der Stern einen vollen Kreis um seinen wahren Standort beschrieben. So ist am Himmel wahr, was mancher Philosoph alter und neuer Zeit von dem Schein und Trug alles Seienden philosophirte! Am Himmel ist wirklich Alles Schein! Statt der Ereignisse der Gegenwart schauen hier wir nur die Geschichte früherer Zeit, und wir erblicken selbst die Gestirne nicht, wo sie wirklich sind, sondern wo sie meist niemals hinkommen können und werden. Aber aller dieser Trug ist nicht, weil unsre Sinne zu schwach und unvollkommen, sondern nur weil der einzige Bote des Himmels ein träger Bote ist, weil er auf Wellen

einherschwimmt, auf Wellen, die allen Gesetzen der Bewegung unterworfen sind.

Zu träge für den Himmel, ist der Lichtstrahl für die Erde zu schnell. Irdisches Licht ist unmeßbar für irdische Augen; irdische Räume messen nicht den Flug des himmlischen Boten. So träumen wir; aber der Wissenschaft, die den Lichtstrahl des Sterns belauschte, wie er das unendliche Miniaturbild des Erdenlaufs am Himmelszelt zeichnete, gilt nichts als unmöglich. Sie mißt selbst die Bewegung des irdischen Lichts.

Zwei Fernröhre werden in dem genau gemessenen Abstande von etwa einer deutschen Meile einander so gegenüber gestellt, daß man durch das eine in das andre hineinsehen kann. In dem ersten Fernrohr ist unter dem Winkel von 45° ein Spiegel angebracht, auf welchen das Licht einer seitwärts stehenden Lampe fällt, und von welchem dieses Licht in das zweite Fernrohr zurückgeworfen wird. In der Axe dieses zweiten Fernrohrs ist aber wieder ein senkrechter Spiegel befestigt, welcher das aufgefangene Licht der Lampe in das erste Fernrohr zurückführt, durch welches es endlich in das Auge gelangt, nachdem es also zweimal den Weg von einer Meile zurückgelegt hat. Werden nun durch den Brennpunkt des ersten Fernrohrs, d. h. durch den Punkt, in welchem sich alles vom zweiten Fernrohr zurückkommende Licht in einen einzigen Strahl vereinigt, die Zähne und Einschnitte einer durch ein Uhrwerk mit außerordentlicher, aber immer doch meßbarer Geschwindigkeit umgedrehten Scheibe geführt, so versteht es sich von selbst, daß diese Zähne und Ein-

schnitte je nach den Umständen das Licht aufhalten oder durchlassen können. Entspricht nämlich die Zeit, in welcher sich die Scheibe von einem Einschnitt bis zum andern dreht, genau der Zeit, in welcher das Licht den Hin- und Herweg von einem Fernrohr zum andern vollendet, so wird jeder durch einen Einschnitt geschlüpfte Lichtstrahl der Lampe auch bei seiner Rückkehr wieder einen Einschnitt finden, durch den er zum Auge gelangen kann. Das Auge empfängt also alle zurückkehrenden Lichtstrahlen, und diese setzen sich in ihrer schnellen Folge zu einem Gesammteindrucke zusammen, erzeugen ein stehendes helles Bild auf der Netzhaut. Ist aber die Drehung der Scheibe nur halb so schnell, so daß sie sich während eines Hin- und Herganges des Lichtstrahls nur von einem Einschnitte bis zum nächsten Zahne fortbewegt, so findet jeder durch einen Einschnitt geschlüpfte Lichtstrahl bei seiner Rückkehr einen Zahn, welcher ihm den Eintritt in das Auge verwehrt. Das Auge sieht nichts von dem rückkehrenden Lichte, es bleibt in völliger Dunkelheit. Die verschiedenen Geschwindigkeiten der Scheibe, welche so bald eine ununterbrochene Helle, bald eine gleichmäßige Dunkelheit in dem Auge erzeugen, werden also ein Mittel, die Geschwindigkeit zu messen, in welcher das Licht den Raum einer Meile zweimal durchläuft. Das Resultat dieser Messung ist völlig übereinstimmend mit den Resultaten, welche sich für die Geschwindigkeit des himmlischen Lichts der Sonne und Sterne ergaben. Giebt es einen bessern Beweis, als daß auf Erden wie im Himmel dieselbe Kraft, dasselbe Gesetz der

Bewegungen besteht? Auch auf Erden ist das Licht ein träger Bote, und wir empfinden seine Trägheit nur nicht, weil sich für irdische Begriffe die Spanne Zeit zu einer Ewigkeit, das Atom zu einer Welt ausdehnt.

Halten wir nun fest an dem Gedanken, daß das Licht nicht aus stofflichen Theilchen bestehe, die etwa von der Sonne abgeschossen den Weltraum durchfliegen und in 8 Min. 13 Sec. zur Erde kommen, sondern daß es eine Schwingung sei, welche irgend einem stofflichen Theilchen von der Sonne mitgetheilt wurde und sich in jener kurzen Zeit durch alle an ihrem Orte bleibenden Theilchen hindurch bis zur Erde mitgetheilt hat, so wird das Licht zu einer Welle und zaubert alle bunten Bilder der Wellen des Sees und der Töne, in verklärter Form freilich, vor unsre Seele. Die Welle des Lichts wird von den Körpern gehemmt und zurückgeworfen, wie die Wasserwelle am Ufer des Sees, wird gebrochen und gebeugt, wenn sie fremde Körper durchdringt, wenn sie durch enge Oeffnungen oder an den Rändern eines Körpers vorbeischlüpft, wie die Welle des Schalles, wenn sie die verschiedenen Luftschichten durchbrach oder um Felsen und Häuser herum zu unserm Ohre sich verlor. Die Wellen des Lichts kreuzen einander und vernichten und verstärken einander, und zwei Lichtwellen können in ihrer Bewegung Finsterniß erzeugen, wie zwei Tonwellen Stille.

Im stillen Gemache wollen wir nun dem Strahle folgen und das vertraute Gesetz in des Zufalls Wundern suchen. Das Gesetz ist das eine und gleiche, nur die Erscheinung ist die wechselvolle.

Der Quell des himmlischen Lichts ist versiegt, der Sonnenball hinter den fernen Bergen versunken. Aber neue funkelnde Lichter sind am Himmel entzündet und senden ihren Schimmer in das nächtliche Dunkel nieder. Auch in unserm Stübchen haben wir künstlich einen Lichtquell eröffnet, haben durch eine Reihe chemischer Vorgänge einen fortdauernden chemischen Proceß eingeleitet, den wir als Verbrennung bezeichnen, und der uns in milden Strahlen für den engen Raum unsrer Häuslichkeit das Tagesgestirn ersetzt. Freilich bleibt trotz des hellen Lampenlichtes noch mancher Winkel unsres Zimmers in eine heimliche Dämmerung gehüllt, und nur an unserm Tische gewahren wir nicht die Schwäche der sobald verrinnenden Wellen. Der blendende Glanz der Moderateurlampe, vor dem wir das empfindliche Auge durch einen Schirm schützen müssen, meinen wir, müsse dem Lichte der Sonne wenigstens nahe kommen. Aber die Stärke des Lichts, wie aller Bewegung, mißt sich nach dem Bereich seiner Wirkungen. Was kaum geschwächt über Hunderte von Millionen Meilen hinausreicht und eine ganze Welt in ein wogendes Lichtmeer verwandelt, das muß von einer gewaltigeren Kraftentwicklung zeugen, als was nicht über die engen Wände eines Zimmers hinauswirkt. Die schwache Welle, die das spielende Kind erregte, verrinnt, ehe sie das Ufer erreicht, aber die mächtige Welle des Sturms schlägt brandend und donnernd gegen die Klippen.

Wen hätte nicht einmal die Lust angewandelt, das Licht seiner Lampe mit den großen Lichtern des Himmels

zu vergleichen! Aber schon vor dem Versuche mußte er zurückschrecken, wenn er sah, wie wenig das gewöhnliche Auge im Stande ist, hier ein sicheres Urtheil zu fällen. Oft mußte er es erfahren, daß man sich darum stritt, ob diese Kerze heller brenne als jene, und ob diese Lampe wohl zwei oder drei Kerzen zu ersetzen vermöge. Wenn das Auge schon in Betreff dieser irdischen Lichter so schwankend in seinem Urtheil ist, wie soll es das Sonnenlicht messen! Wir wissen wohl, daß nach dem Gesetze der Wellenbewegung die Stärke jedes Lichtes mit seiner Entfernung abnimmt, und daß diese Verminderung stets dem Quadrate der Entfernung entspricht. Bei gleicher Erleuchtung wird also die Entfernung ein Maaß für die Stärke der Lichtquellen abgeben. Ist nun das Auge auch nicht im Stande über die Helligkeit zweier Lichtquellen dem Grade nach zu unterscheiden, so macht es doch seine größere Empfindlichkeit für schwächeres Licht einigermaßen möglich, anzugeben, welche von zwei erleuchteten Flächen das meiste Licht empfing, oder welcher von zwei Schatten, die auf einen und denselben Körper geworfen werden, die größte Dunkelheit besitzt.

Wenn wir einen dünnen Stab in einiger Entfernung von der Lampe aufstellen, so wirft er einen dunkeln Schatten, der sich ziemlich scharf auf einem weißen Blatte Papier abgrenzt. Die Lichtwellen, welche von der Lampe gradlinig nach allen Seiten ausgehen, werden von dem Stäbchen aufgehalten, und die neuen Wellen, die sich beim Vorübergehen am Stäbchen bilden und einander nicht sofort gegenseitig aufheben, vermögen nur die Rän-

der des Schattens ein wenig zu lichten. Vier solcher Lampen aber müßten wir aufstellen, sollte das Stäbchen in der doppelten Entfernung noch einen gleich dunkeln Schatten erzeugen. Die Helligkeit verschiedener Lichter wird also dem Quadrate der Entfernungen entsprechen, in welchen sie noch gleich dunkle Schatten erzeugen oder dieselbe Fläche gleich stark erleuchten. So können wir die Stärke des Lichts messen selbst mit größerer Genauigkeit als wir bei dem Mißtrauen, das wir in das Urtheil unseres Auges setzen, erwarten möchten. Denn die Erfahrung hat gelehrt, daß wir einen Unterschied in der Lichtstärke oder einen Schatten noch wahrnehmen, wenn die Erleuchtung zweier benachbarten Stellen nur um $^1/_{60}$ von einander verschieden sind. So hat man das Licht der Sonne, des Mondes, der Sterne untereinander und mit unsern irdischen Lichtern verglichen. 20000 Millionen mal stärker hat man das Licht der Sonne und selbst 27000 mal stärker das bleiche Licht des Mondes gefunden, als das des funkelnden Sirius, eines der hellsten aller Fixsterne. 300000 bis 800000 mal stärker hat man das Sonnenlicht gegen das Mondlicht erkannt, und 5500 Kerzen würden bei 1 Fuß Entfernung erst ein Licht geben, das dem Glanze der Sonne gleich käme.

Doch es drängt uns, dem Lichtstrahl auf seinen verborgenen Wegen zu folgen. Der Gedanke, daß er Wellen seine Erscheinung verdanke, welche allen Gesetzen unterworfen seien, die sich uns in den Wellen des Sees offenbarten, reizt unsre Neugier. Draußen ist der Mond heraufgestiegen, und seine silbernen Wellen schwimmen

über der nächtlich stillen Flur. Scharf zeichnen sich die Gegenstände in dem farblosen Gemälde ab, und die grellen dunklen Schatten, haben etwas Unheimliches, Geisterhaftes für unsre Phantasie. Von dem See her blinkt wie ein Zauberstreif der silberne, in den Wellen funkelnde Widerschein des Mondes. In jedem Kiesel, jedem Glasstückchen zittert sein Licht; wir glauben Irrlichter zu sehen, und es sind nur kleine Mondbilder, die uns von Thautropfen entgegen geworfen werden.

Die ganze Natur draußen wirft uns das Mondlicht zurück, die ganze zauberhafte Beleuchtung ist nur ein Branden von Lichtwellen. Denn diese Natur um uns ist nur das Ufer, an welches die Lichtwellen schlagen, und wie heut im Spiel des Windes die Ufer des Sees seine Wellen zurückschleuderten, so kehren die Wellen des Mondes von den Ufern der Natur zurück, und unsre Augen, welche diese Lichtwellen auffangen, werden jetzt erst der Ursachen dieser Wellen, der Dinge um uns, gewahr. Wie dem Schiffer auf hoher See die schäumende Brandung die Nähe der Gestade verkündet, so wird unserm Auge die Welt erst sichtbar durch die Wellen, die von ihren Grenzen zurückkehren.

Bei der Fülle der Wellen, welche den Lichtocean durchströmen, muß eine unendliche Zahl von Wellen beständig von den Körpern, die ihrem Fortgange hindernd in den Weg treten, zurückgeworfen werden. Die Richtung dieser Zurückwerfung muß durch dasselbe Gesetz bestimmt werden, wie die des von der Wand rückprallenden Balles oder der am Ufer sich brechenden Wasserwelle.

Jede Lichtwelle muß unter demselben Winkel von der Fläche zurückgehen, unter welcher sie auffiel. Die tausend Unebenheiten der Körper müssen also die tausend zum Theil von allen Seiten her anprallenden Lichtwellen auch nach allen möglichen Richtungen zurückwerfen. Dieses zerstreute Licht aber ist es, welches uns die Körper sichtbar macht, da eben jeder Punkt ihrer Oberfläche durch das von ihm ausgesendete Licht vom Auge erkannt wird. Wo aber eine ebene Fläche die von einem leuchtenden Punkte herkommenden Wellen auffängt, da muß dasselbe Gesetz die Wiedervereinigung der regelmäßig zurückgeworfenen Lichtwellen in unserm Auge bewirken, und das zurückgeworfene Licht läßt uns nicht mehr die erleuchtete Fläche, sondern die Quelle des Lichts selbst, aber in veränderter Richtung wahrnehmen. Die ebene Fläche spiegelt den leuchtenden Körper, zeigt sein freilich geschwächtes Abbild. Auf der stillen Fläche des Sees spiegelt sich der Mond, und in seinem dunkeln Grunde sehen wir ein Bild des Himmels und seiner funkelnden Sterne.

Gewohnt, die Spiegelung des Lichtes als die einfachste und ursprünglichste, allen Zurückwerfungserscheinungen zu Grunde liegende Erscheinung zu betrachten, müssen wir dennoch jetzt zu den Wellen des Wassers und dem von der Wand zurückprallenden Balle zurückkehren, um das Wesen dieser Erscheinung zu begreifen. Es ist keine neue Erfahrung, die wir machen; denn was im Leben der rohen Anschauung als das Einfachste galt, was das Kind kaum für beachtungswerth hielt, hat sich dem wissenschaftlichen Blicke schon oft als das verwickeltste

Produkt zahlreicher Wirkungen enthüllt. Wenn der Knabe ein Habichtskraut am Wege pflückt oder wenn der Landmann die Riedgräser seiner sauern Wiese mäht, dann ahnt er es auch nicht, welche Schwierigkeiten diese unscheinbaren Pflanzen dem systematischen Botaniker verursachten. Genug, wir kehren zu den Wellen des Wassers zurück.

Als wir (S. 24) die kleinen Wasserwellen des Mühlgrabens von dem hölzernen Bollwerk des Ufers zurückkehren sahen, schien es uns, als ob diese Wellenkreise gleichsam nur von der Wand gebrochen wären, so daß sie nur den Ausgangspunkt geändert hätten und scheinbar von einem ebenso weit jenseits der Wand liegenden Punkte herkämen, als ihr ursprünglicher Erregungspunkt diesseits der Wand lag. Wir erkannten als den Grund dieser Thatsache eine Richtungsveränderung in der Mittheilung der schwingenden Bewegung von Theilchen zu Theilchen. Wir sahen, daß die Richtung dieser Mittheilung genau unter demselben Winkel von der Wand rückwärts erfolge, unter welchem sie gegen die Wand hin fortschritt. Wir erkannten, daß jedes Theilchen unter demselben Winkel von der Wand zurückkehrte, unter welchem es aufgetroffen war. Wir erhoben damals diese Erscheinung zu einem allgemeinen Gesetz der Wellenbewegung, und wir müssen seine Bestätigung damit auch für die Wellenbewegung des Lichts voraussetzen.

Wenn uns beim Wasser die zurückgeworfenen Theilchen nur unter dem Gesammtbilde eines Wellenkreises, dieser trügerischen Form, unter welcher sich die wahre Be-

wegung der Theilchen versteckt, wahrnehmbar wurden und wir die veränderte Richtung des Fortschreitens der Schwingungen nur in den Radien der rückwärts gewendeten Kreise ahnen mußten, so ist es gerade diese Richtung der fortschreitenden Bewegungsmittheilung, welche uns beim Lichte als Licht, als Lichtstrahl erscheint. Hier offenbart sich darum deutlicher als beim Wasser das allgemeine Gesetz der Zurückwerfung. Die Strahlen kehren wirklich sichtbar unter den gleichen Winkeln von der spiegelnden Fläche zurück, unter welchen sie dieselben trafen, kehren wirklich sichtbar aus einem ebenso weit hinter dem Spiegel liegenden Punkte zurück, als der leuchtende Punkt vor ihm entfernt liegt, und erzeugen so in ihrer vereinigten Wirkung ein sichtbares Bild des Gegenstandes hinter dem Spiegel, der seine Lichtstrahlen auf diesen Spiegel warf. Dieser Umstand ist es, der die Spiegelung immer als die einfachste und ursprünglichste aller Zurückwerfungserscheinungen anschauen ließ.

Mit ganz andern Gedanken werfen wir jetzt am Morgen unsern gewohnten Blick in den Spiegel. Wir verstehen seine Bilder und seine Treue. Wir wissen ja, daß es dasselbe von unserm eignen Körper zurückgestrahlte Licht ist, das uns von jener Fläche her wiederkehrt. Wir verstehen, warum diese Bilder also genau die Größe und Lage der Gegenstände haben müssen, die sie spiegeln, warum wir sie genau so sehen, als stünden sie hinter dem Spiegel in gleicher Entfernung. Wir begreifen auch die Klarheit des Spiegelbildes, und wie diese von der Regelmäßigkeit der Lichtreflexion abhängt,

wie darum minder ebene Spiegel, von denen die Zurückwerfung nach verschiedenen Richtungen geschieht, minder deutliche Bilder gewähren. Wir verstehen es auch, warum noch heute die Metallspiegel der Alten, die kupfernen, silbernen, zinnernen, vielmehr noch die Platinspiegel die besten sind, während bei unserm mit Zinnamalgam belegten Glasspiegel außer der glänzenden hinteren Metallfläche auch das Glas spiegelt, und daher zwei Bilder entstehen, die einander in ihrer Deutlichkeit beeinträchtigen. Wir wissen nun, warum das grüne oder dunkle Glas für Spiegel so ungeeignet ist, weil bei der Schwächung, welche das von der Metallfläche zurückgeworfene Licht, indem es die dunkle Glasmasse durchdringt, erleidet, das von der vordern Glasfläche gespiegelte Bild um so merklicher hervortritt.

Aber diese Aufklärung ist es nicht allein, die wir durch das Gesetz der Lichtreflexion über eine der alltäglichsten Erfahrungen erlangen, eine ganze Reihe von Gestalten taucht gleichzeitig auf, welche der Spiegel annehmen mußte, um zu Spiel und Ernst, für Kunst und Wissenschaft Bilder zu zaubern. Hier stellt sich uns jene Spiegelkammer entgegen, die wir als Kinder oft bewunderten, wenn sie uns den einzelnen Schwan in seiner Mitte ringsum vieltausendfach vervielfältigt zeigte. Es waren parallele Spiegel, deren jeder das Spiegelbild des andern wiederspiegelte und so in unendlicher Wiederholung, so weit die mit jeder Zurückwerfung abnehmende Helligkeit nicht endlich der Zahl der sichtbaren Bilder eine Grenze setzte. Dort sehen wir das Kaleidoskop, das uns durch

die Pracht, Regelmäßigkeit und Mannigfaltigkeit seiner Bilder, die den schönsten Mustern von Tapeten und Kleiderstoffen glichen, oft stundenlang staunend unterhielt. Es ist eine einfache Pappröhre, die zwei unter einem Winkel gegen einander geneigte Spiegel umschließt, und diese Spiegel erzeugen aus wenigen unscheinbaren Moos- und Glasstücken oder einfachen streifigen Zeichnungen innerhalb ihres Winkels durch Wiederholung ihrer Bilder und Ergänzung zum Kreise jene prächtigen sternförmigen Gruppirungen. Aber wir erinnern uns auch zugleich des Goniometers, mit welchem der Mineralog die Winkel mißt, welche die Flächen seiner kleinen Krystalle mit einander bilden. Die beiden Spiegelbilder, welche von den Flächen des Krystalls zurückgeworfen werden, wenn man ihn um eine Axe dreht, lassen auf einer Scheibe, die gleichzeitig um diese Axe gedreht wird, den Neigungswinkel der beiden Krystallflächen ablesen.

Auch den Seemann, den Astronomen, den Physiker sehen wir ihren Nutzen aus diesen Spiegeln ziehen, die wir sonst nur im Dienste der Eitelkeit wähnen. Hier mißt der Seemann trotz der Beweglichkeit des Schiffes durch die Spiegel seines Sextanten den Winkel ferner Gegenstände am Horizonte, etwa zweier Sterne, und von der Genauigkeit seiner Messung hängt die Kunde seiner Lage, hängt das Geschick seines Schiffes ab. Dieser Sextant ist ein metallner Kreisausschnitt, um dessen Mittelpunkt sich ein einfaches Lineal, eine Alhidade, und auf ihm ein senkrechter Spiegel dreht. Von diesem Spiegel wird das Licht eines fernen Punktes auf einen andern, dem erstern pa-

rallelen, aber nur halb belegten Spiegel zurückgeworfen, der auf dem Sextanten einem Fernrohr gegenüber befestigt ist, und in dessen unbelegtem Theile der zweite ferne Punkt durch das Fernrohr gesucht wird. Die Stellung der Alhidade auf dem Sextanten in dem Augenblicke, wo beide Punkte gleichzeitig in diesem letztern Spiegel erscheinen, mißt den Winkel beider Spiegel und damit zugleich den doppelten Winkel der fernen Gegenstände selbst.

Dort begleitet der Physiker mit dem Spiegel seines Heliostaten den Lauf der Sonne. Eine Uhr läßt durch einen sinnreichen Mechanismus den Spiegel der Sonne folgen, daß er zu jeder Zeit ihr Bild, wie sie auch am Himmel fortschreiten mag, in derselben Richtung unverrückt auf einen Punkt bannt.

Während unsre Phantasie uns mit den verschiedenen Gestalten unterhält, welche der Spiegel im Dienste der Wissenschaft annahm, ist draußen eine finstre Nacht hereingebrochen. Ein wüthender Sturm tobt durch die Straßen und treibt seine wilden Wolkenschaaren über den eben noch im milden Sternenglanz schimmernden Himmel hin. Die Straßenlaternen schaukeln hin und wieder, und ihr schwankender Schein beleuchtet auf Augenblicke die unter Dach und Fach flüchtenden Menschen.

Die Phantasie versetzt uns auf das Meer, das wilde sturmbewegte Meer, wo finstrer die Nacht und mit dem dumpfen Geheule des Windes das Brausen und Zischen der Wellen sich mischt. Kein Stern leuchtet vom Himmel, dem verschlagenen Schiffe den Weg erhellend, und erst der Donner der Brandung verkündet der Mannschaft die

verderbendrohende Nähe der felsigen Küste. Der Gedanke an Land, dessen Anblick sonst, und wäre es der des unwirthlichsten, wie ein Zauberschlag alle Bangigkeit und alles Leid des Seemanns zerstreute, der sonst wie ein Ruf zu Lust und Jubel wirkte, der Gedanke an den Hafen selbst, nach dem vielleicht seit Monden und Jahren schon das Herz des Seemanns, dem Weib und Kind dort harren, entgegenschlug, in finstrer Sturmnacht wirkt er entsetzenerregend. Hier erst beginnt die Gefahr; das hohe Meer, das nur Wellen und Sterne kennt, weiß auch von Tücken nichts. Hier am Eingang des Hafens wagt es vielleicht der erfahrenste Lootse zur Nachtzeit nicht, ein Schiff zu leiten.

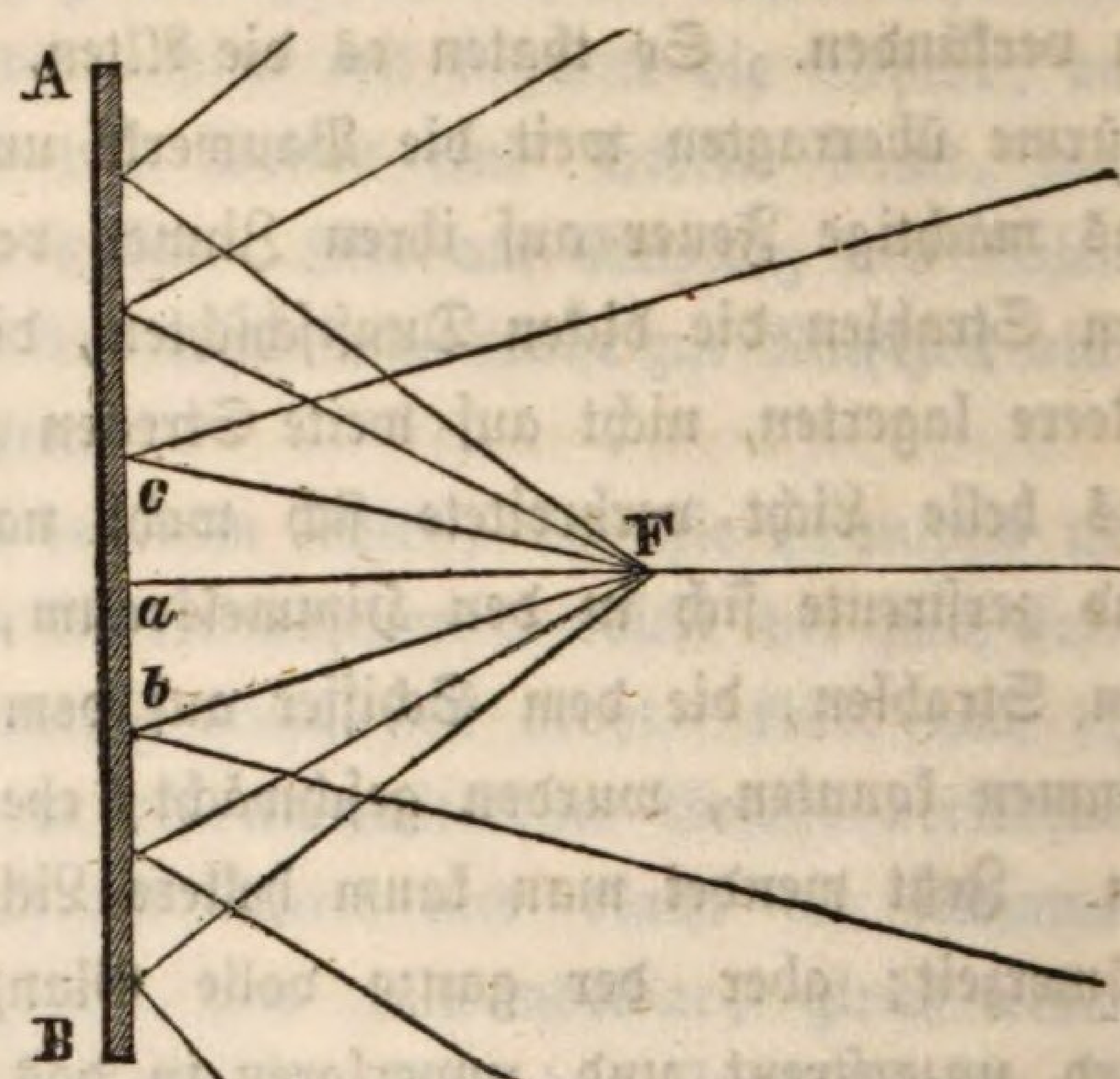
Wir zittern bei dem Bilde, das die Phantasie uns vorführt, bei den Schreckensscenen, welche der noch ferne Donner der Brandung einzuleiten droht. Aber noch ehe dieser Schreckenslaut die unentrinnbare Gefahr verkündet, zeigt sich mitten durch Sturm und Nacht ein seltsames Licht, blendend, fest und unwandelbar, gleich einem Sterne. Es ist das rettende Licht des Leuchtthurms am Lande, das sogar durch seine Eigenthümlichkeit dem durch die Ungunst des Himmels vielleicht schon seit Tagen jedes Mittels zur sichern Lenkung seines Schiffes beraubten Schiffer aufs Genaueste den Punkt der Küste nennt, in dessen Nähe er sich befindet. Der Schiffer ist gerettet; denn jetzt vermag er, wenn auch durch Ausführung schwieriger Manoeuvres, Mittel zu finden, um sich bis zum Tagesanbruch vom Ufer fern zu halten.

Was freilich hat der Leuchtthurm mit unsern Spie=

geln zu thun? Ein helles Licht auf hohem Thurme, ein großes Feuer etwa, oder eine jener prächtigen Lampen mit doppeltem Luftzuge, oder eines jener andern köstlichen Beleuchtungsmittel unsrer Tage, die sich zu den trüben, unreinlichen, die man noch vor 50 Jahren verwandte, wie ein heller Sommertag zu einem trüben Wintertage verhalten, solch ein Licht hoch auf dem Felsen der Küste müßte genügen, weithin den Seefahrern die nahe Gefahr zu verkünden. So thaten es die Alten, und ihre Leuchtthürme überragten weit die Bauwerke unsrer Zeit. Aber das mächtige Feuer auf ihren Zinnen vermochte mit seinen Strahlen die dicken Dunstschichten, die sich über dem Meere lagerten, nicht auf weite Strecken zu durchdringen, das helle Licht verbreitete sich wohl nach allen Seiten und zerstreute sich in den Himmelsraum, aber die wenigen Strahlen, die dem Schiffer auf dem Meere zu gute kommen konnten, wurden geschwächt, ehe sie ihn erreichten. Jetzt wendet man kaum hellere Lichter an, als zur Römerzeit; aber der ganze volle Glanz dieses Lichtes wird unzerstreut und unverloren in das Auge des Seemanns gesendet und erreicht es darum in so weiten Fernen.

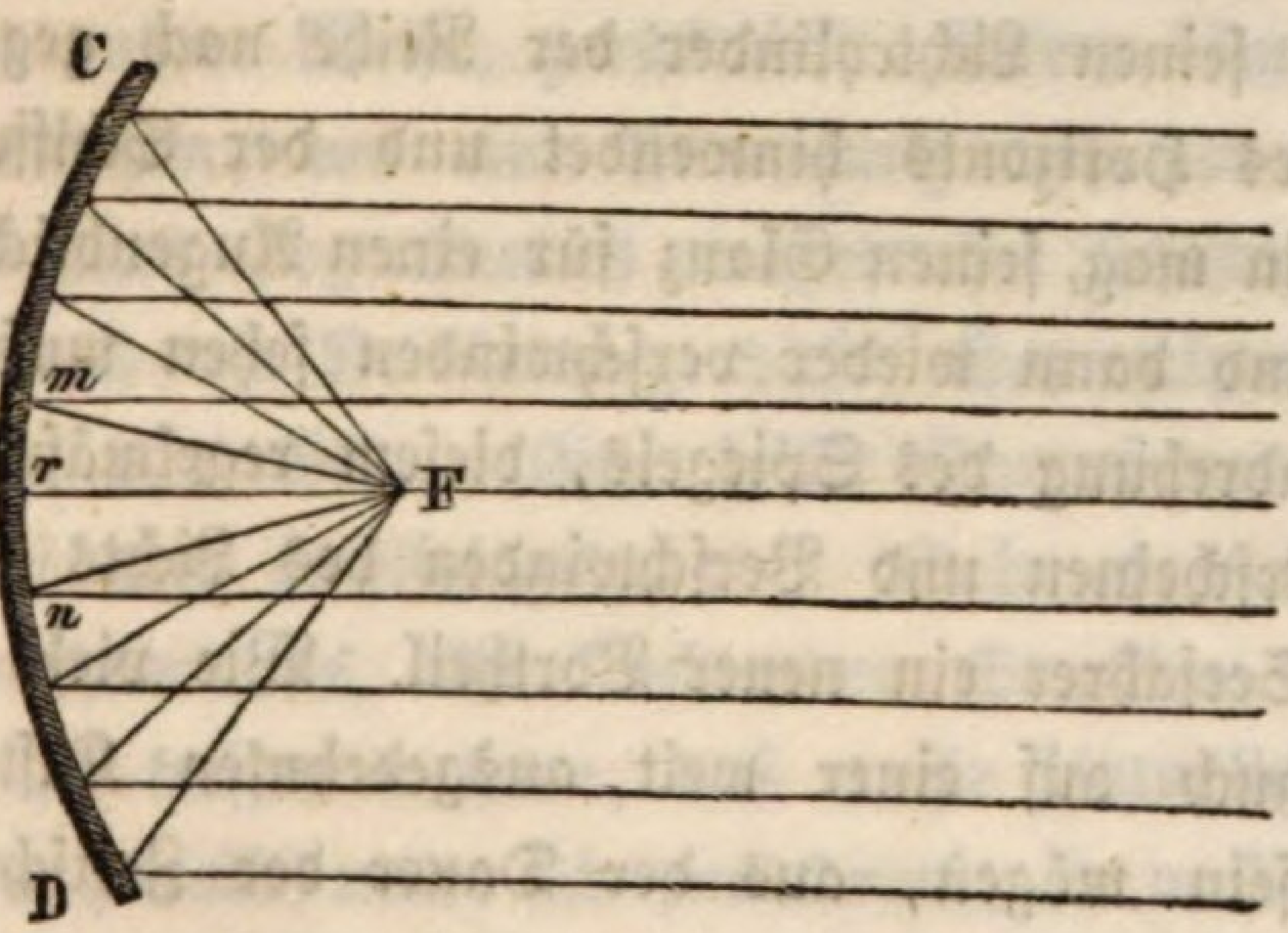
Wie war es nun möglich, jene doppelte Aufgabe für die Leuchtthürme zu erfüllen, auf der einen Seite die verderbliche Zerstreuung des Lichts, die seiner Helligkeit in der Ferne so nachtheilig ist, zu vermeiden, und auf der andern das gesammte Licht der Lampe in weitem Umkreise zur Wirkung zu bringen? Dort jene Straßenlaterne, deren Schein wir weithin nach beiden Seiten in der Mitte der

Straße verfolgen können, verspricht uns einige Aufklärung. Auch hier wird ja das Licht einer Lampe nach einer Richtung vereinigt. Wir wissen, daß die Blenden dieser Laternen diese vereinigende Wirkung hervorbringen, und diese Blenden sind gekrümmte Spiegel. Also wieder der Spiegel, derselbe Spiegel, der als ebene Fläche grade eine Zerstreuung des Lichts verursachen müßte, wirkt in andrer Form das Entgegengesetzte. Ein ebner Spiegel AB wirft parallele Strahlen auch parallel zurück, aber die Strahlen eines von einem nahen Lichte kommenden Lichtbündels (F) treffen ihn unter verschiedenen,



nach außen immer kleiner werdenden Winkeln, und so wirft er sie auch unter immer kleineren Winkeln, also immer weiter auseinander gehend, zurück. Könnten nun mehrere Spiegel so mit einander verbunden werden, daß die Winkel, unter welchen jeder den ihn treffenden Lichtstrahl zurückwürfe, zwar auch noch immer kleiner, aber doch nicht in solchem Maaße kleiner würden, so ließe sich wohl eine Stellung dieser Spiegel denken, in welcher die gesammten Lichtstrahlen eines Lichtes nicht mehr zer-

streut, sondern in einer und derselben Richtung, also parallel zurückgeworfen würden. Denken wir uns diese Spiegel in einen einzigen vereinigt, so ist das natürlich ein gekrümmter, und der Mathematiker würde noch zu bestimmen haben, welches genau die Form seiner Krümmung



sein müßte. Ein solcher gekrümmter Spiegel, ein Hohlspiegel, (CD) ist also im Stande, alle von einem gewissen Punkte F herkommenden Lichtstrahlen unter sich parallel, gleichsam als einen leuchtenden Cylinder zurückzusenden.

Solche Hohlspiegel sind es nun auch, welche auf den Leuchtthürmen das Licht der Lampe auffangen und alle seine Strahlen, die sonst nach dem Boden zu und gegen den Himmel oder landeinwärts verloren gegangen wären, vereinigt dem Meereshorizonte zusenden. Ein blendend heller Lichtcylinder fällt auf das Meer, freilich bis in die weiteste Entfernung nur von der Breite des Spiegels, da eben jede Zerstreuung dieser Strahlen ab-

sichtlich durch den Spiegel verhindert worden ist. Damit würde nun allerdings in dem allergrößten Theile des Meereshorizonts völlige Dunkelheit herrschen, und der Pilot sich vergeblich nach einem Signale umsehen. Deßhalb wird der Spiegel des Leuchtthurms durch ein Uhrwerk in eine beständige, gleichförmige Umdrehung versetzt, so daß er seinen Lichtcylinder der Reihe nach gegen alle Punkte des Horizonts hinwendet und der Schiffer, wo er auch sein mag, seinen Glanz für einen Augenblick wahrnehmen und dann wieder verschwinden sehen muß. Aus dieser Umdrehung des Spiegels, diesem regelmäßig wechselnden Erscheinen und Verschwinden des Lichts erwächst für den Seefahrer ein neuer Vortheil. Wie viele Leuchtthürme auch auf einer weit ausgedehnten Küstenstrecke errichtet sein mögen, aus der Dauer der Zwischenzeiten zwischen dem Verschwinden und Wiederkehren des Lichts ist er im Stande genau zu beurtheilen, welcher Leuchtthurm und welcher Theil der Küste ihm in Sicht ist. Allen jenen verhängnißvollen Täuschungen, die durch einen auf- oder untergehenden Stern oder Planeten, durch zufällige, von Fischern oder Holzhauern am Lande angezündete Feuer veranlaßt, oft die bejammernswerthesten Schiffbrüche herbeigeführt haben, ist durch diese sinnreiche Einrichtung ein für allemal ein Ende gemacht.

Die beruhigte Phantasie kehrt vom sturmbewegten Meere zurück, um neue Streifzüge zu beginnen. Lassen wir sie frei schweifen! Der Verstand hat ihr die Richtung gegeben, und mag sie auch hin und wieder gern

ihre Seitensprünge machen, immer wird sie zu dem vorgeschriebenen Wege zurückkehren.

Die Phantasie verlangt Bilder vom Spiegel, und in der That muß sie der Hohlspiegel so gut, wenn auch in andrer Form, wie der ebene liefern, da er die Lichtstrahlen, die er von den Gegenständen empfängt, ebenfalls, wenn auch in andrer Weise, zurückwirft. Bilder können freilich nur entstehen, wo eine Sammlung mehrerer von jedem Punkte eines Gegenstandes ausgehender Lichtstrahlen stattfindet, und die Verbindung dieser Sammelpunkte bildet ja eben das Bild. Eine solche Sammlung tritt aber auch bei den Hohlspiegeln ein. Gab es einen Punkt, von welchem aus alle leuchtenden Strahlen den Hohlspiegel so treffen mußten, daß er sie sämmtlich in einer Richtung parallel unter sich zurückwarf, so versteht es sich von selbst, daß auch alle in dieser Richtung auf den Spiegel fallenden Strahlen nach jenem Punkte zurückkehren müssen. Ebenso müssen aber auch alle Strahlen, die von dem leuchtenden Gegenstande aus durch jenen Punkt ihren Weg zum Spiegel nehmen, in einer unter sich und mit der Axe des Spiegels parallelen Richtung zurückkehren. Diese letztern Strahlen begegnen natürlich den ersteren, und in ihrem Vereinigungspunkte entsteht das Bild des leuchtenden Gegenstandes. Da nun die Lichtstrahlen, von je höheren Punkten sie kommen, stets um so mehr nach unten zurückgeworfen werden und umgekehrt, so muß dieses Bild ein verkehrtes sein, und zwar ein verkleinertes oder vergrößertes, je nachdem der spiegelnde Gegenstand mehr oder weniger weit entfernt von jenem

wichtigen Sammelpunkte der Lichtstrahlen sich befindet. Wo aber werden wir dieses verkehrte und vergrößerte oder verkleinerte Bild sehen? Es entsteht in der That vor dem Spiegel, also in der Luft; aber da wir gewohnt sind, bei ebnen Spiegeln die Bilder stets hinter den Spiegeln zu sehen, und da wir überhaupt nur Flächen als eine Stätte für Bilder kennen und immer diese ruhende Fläche hinter den luftigen Bildern suchen, so lassen wir uns auch hier über den Ort des Bildes täuschen und versetzen es in oder hinter den Spiegel. Daß aber das Bild wirklich in der Luft schwebt, davon erhalten wir einen Beweis durch die Möglichkeit, das Bild an seinem Orte aufzufangen und festzuhalten. Ein Blättchen durchsichtigen Papiers, das wir der wirklichen Geburtsstätte des Bildes nähern, zeigt es uns genau, wie wir es hinter dem Spiegel zu sehen meinten. Ja ein großer Hohlspiegel vermag uns sogar wirklich in der Luft schwebende Bilder sichtbar zu machen, und die Phantasmagorien und Geistererscheinungen der Taschenspieler sind nichts anderes als solche Luftbilder.

Es läßt sich nun freilich auch eine Lage des spiegelnden Gegenstandes denken, wo seine Lichtstrahlen so auseinander geworfen werden, daß sie auf ihrer Rückkehr gar nicht mehr zu einer Vereinigung vor dem Spiegel gelangen können. Das wird eintreffen, wenn der spiegelnde Gegenstand dem Spiegel sehr nahe, noch zwischen ihm und jenem allgemeinen Sammelpunkte der parallelen Strahlen steht, wo seine unmittelbaren Strahlen also nicht mehr durch diesen Punkt selbst, sondern nur

in einer Richtung, als kämen sie von jenem Punkte, fort gehen können. Wir werden dann freilich kein Bild mehr erhalten, das wir aufzufangen vermöchten, kein objectives Bild, wie es der Physiker nennt. Aber ein Bild werden wir doch sehen, ein Bild, wie es uns der ebene Spiegel zeigt, an dem Orte, von dem die Strahlen, die unser Auge treffen, herzukommen scheinen, also an dem scheinbaren Vereinigungspunkte der verlängerten Strahlen hinter dem Spiegel. Freilich gelangt kein Lichtstrahl wirklich hinter den dicken metallnen Spiegel, und nur der Eindruck der zurückgeworfenen Lichtstrahlen auf unser Auge und unsre bildende Phantasie ist es, was uns dort ein Bild zaubert, aufrecht und vergrößert, wie es die Zerstreuung der Strahlen verlangt, ein subjectives Bild, wie es vom Physiker genannt wird.

Wie solche Hohlspiegel, so werfen nun freilich auch alle gekrümmten Flächen jeder Gestalt die Strahlen leuchtender Gegenstände zurück. Bilder allerdings erzeugen sie nur, wenn, wie wir gesehen haben, ein gewisses Gesetz ihrer Gestaltung beobachtet ist, wenn ihre Krümmung eine solche ist, daß alle parallel mit ihrer Axe auffallenden Strahlen in einen gewissen Punkt vereinigt werden. Diese Form zu bestimmen, ist Aufgabe des Mathematikers; ist sie aber einmal gegeben, so muß sie ihre Eigenschaft bewahren, mag diese Krümmung nun nach innen oder außen gerichtet, mag der Spiegel ein hohler oder erhabener sein. Bei solchen erhabenen Spiegeln nun, die ihre Krümmung nach außen wenden, werden freilich die Lichtstrahlen noch mehr und schneller auseinandergeworfen-

als bei ebenen Spiegeln, und nur in ihrer Verlängerung hinter dem Spiegel kann ein Vereinigungspunkt der zurückgeworfenen Strahlen liegen. Erhabene Spiegel geben daher stets nur jene scheinbaren, von uns hinter den Spiegel versetzten Bilder, aufrecht zwar, aber stets verkleinert wegen der durch die große Zerstreuung der zurückgeworfenen Strahlen bedingten schnellen Näherung und Vereinigung ihrer die Bilder erzeugenden Verlängerungen. Wem wären nicht jene innerlich geschwärzten oder metallisch glänzenden Glaskugeln in den Gärten bekannt und die niedlichen, freilich durch die verschiedene Entfernung der Gegenstände oft verzerrten Miniaturlandschaftsbilder, durch die sie ein Spielzeug für müßige, der lebenden Natur verschlossene Spaziergänger werden!

Tausend und abertausend Flächen bietet ringsum die Natur dem Lichte dar, das von der Sonne quillt, und von einem Gegenstande zum andern geworfen wird. Alle diese Flächen sind Spiegel, und wenn sie uns nicht wirkliche Bilder spiegeln, so liegt es nur an der Kleinheit und Unregelmäßigkeit dieser Flächen, die eben nur leuchtende Punkte, gleichsam unendlich kleine Abbilder des ewigen Lichtquells bieten und aus diesen leuchtenden Punkten ihre eigne sichtbare Form und Fläche zusammensetzen. Selbst die Luft des Himmels, die wir unsichtbar zu nennen pflegen, wirft die Strahlen der Sonne zurück, und unmittelbar würde die Finsterniß der Nacht dem Sonnenuntergange folgen, wenn nicht die Dünste der Atmosphäre das Licht der gesunkenen Sonne noch in unser Auge strahlten und das wunderbare Schauspiel der Dämmerung zauberten.

Ist es im geistigen Leben denn anders? Ist nicht der Körper und seine Haltung, seine Geberden und seine Formen, ist nicht das Antlitz und die Stirn, ist nicht vor allem das Auge und der Mund ein Spiegel der Seele, in dem wir die tief verborgenen Vorgänge des Innern, seine Leidenschaften, seine Wünsche, seine Gedanken zu lesen vermögen? Sind es nicht mit einem Worte reflectirte Lichtstrahlen des Geistes, die uns sein geheimes Wirken offenbaren? Spiegelt sich in dem Leben des Einzelnen nicht stets ein ganzes Volk und ein ganzes Zeitalter? Und kommt es nicht oft genug vor, daß sich eine Persönlichkeit findet, die gleichsam im Sammelpunkte aller dieser geistigen Lichtstrahlen nicht bloß ein typisches Vorbild der Zeit bietet, sondern bewußt oder unbewußt der Zeit das Losungswort und dem Jahrhundert seine Richtung giebt? Giebt es nicht auch eine Dämmerung im geistigen Leben, eine Vorahnung des kommenden Tages und ein Nachleuchten des geschwundenen? Sehen wir nicht stets den großen Sonnen der Jahrhunderte dämmernde Lichtscheine voraufgehen, Strahlenreflexe des kommenden Geistes an noch schlummernden, aber empfänglichen Seelen? Sehen wir nicht solchen Sonnen den Schein folgen, der in buntem Spiele von den kleinen Geistern der abendlichen Zeit zurückgeworfen wird? Das Leben des Geistes ist eins mit dem Leben der Natur, von gleichen Gesetzen, gleichen Erscheinungen beherrscht, das eine ist nur das Spiegelbild des andern!

Viertes Kapitel.

Die Licht- und Wärmewellen.

(Fortsetzung.)

Das Leben des Geistes ist ein Spiegelbild der Natur, die erquickend oder versengend, Blüthen weckend oder Keime tödtend ihre Wellen in das Innerste der Seele sendet, damit sie als Stimmungen, Empfindungen, Gedanken und Thaten zurückgestrahlt werden.

Solch ein Widerstrahl des Lichtes in unserm Innern war es auch, der uns neulich beim Erwachen der Frühlingsnatur so wonnig erfüllte, gleich als ob die Frühlingssonne in uns selbst aufgehen wollte. Der Frühling ist nun gekommen mit aller seiner Pracht; und doch will es heute grade trotz dieses Blüthenschmucks und des duftigen Grüns, trotz Nachtigallensang und Sonnenglanz in unserm Innern nicht recht warm und hell werden. Die reizende Natur sendet nur verzerrte Bilder in unser Herz, gleich als ob wir sie nicht rein und unmittelbar, sondern durch eine getrübte Brille schauten. So ist es aber in der That. Häusliche oder Berufssorgen, trübe Erfahrungen oder Mißmuth und Reue haben unsre Seele mit einer dichten Hülle umzogen, und der reinste Lichtstrahl, der diese Hülle durchbricht, muß durch sie gefärbt und entstellt werden. Nur die freie, reine Seele empfängt reine und wahre Bilder. Das ist ein Gesetz der Natur, das wieder nicht allein unsre Seele berührt, sondern auch draußen gilt in Wald und Wiese und Luft und Meer.

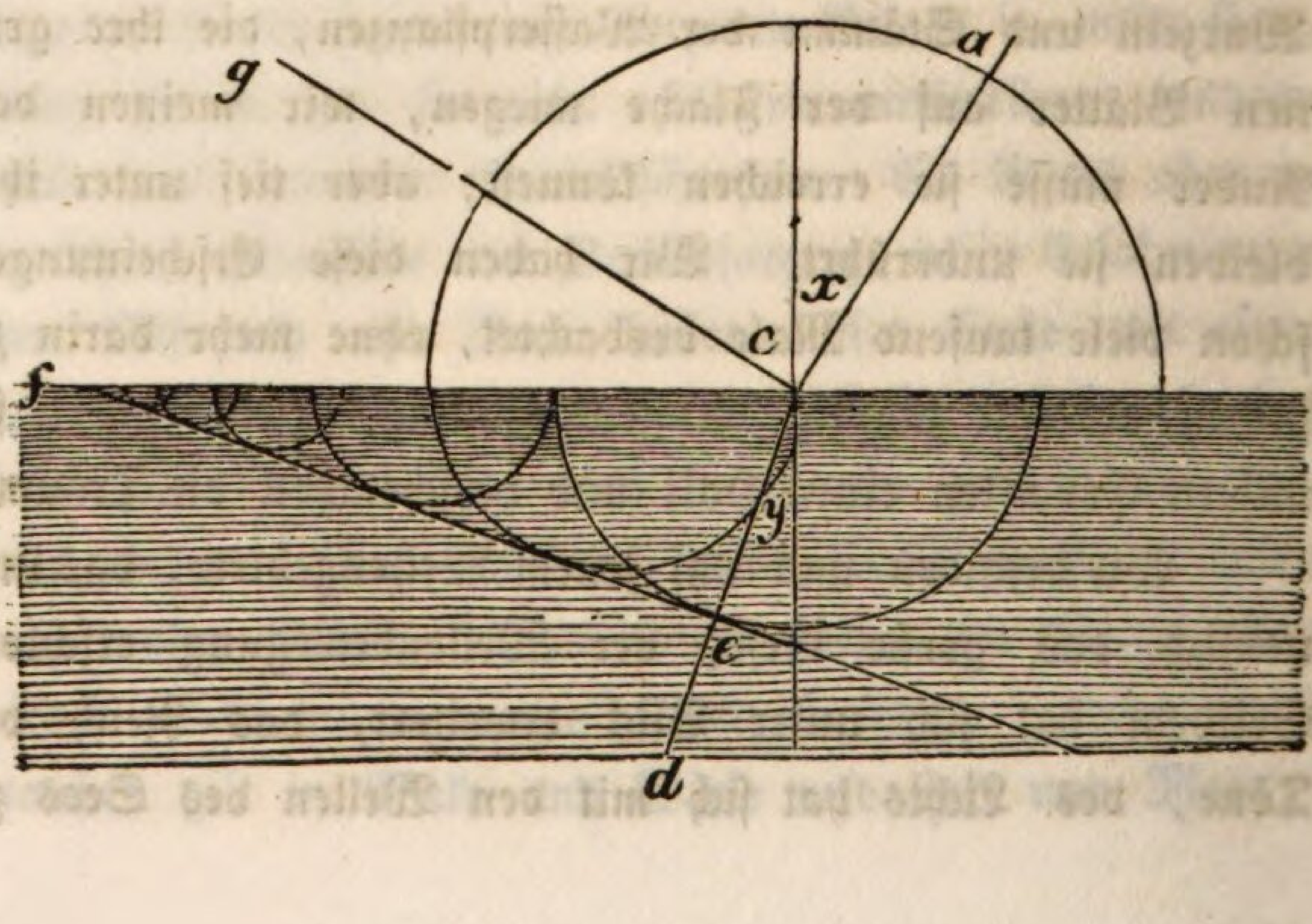
Ein Kahn am Ufer jenes Sees, an dem wir neulich das Gesetz der Wellen studirten, ladet uns zu einer kleinen Fahrt auf der spiegelglatten Fläche ein. Wir denken ein wenig zu träumen, um ungestörter den warmen Frühlingsodem auf uns einströmen und den Nebelschleier unsrer Seele verwehen zu lassen. Wer aber hat die Träume in der Gewalt? Der geringste Anstoß giebt ihnen die Richtung, ein einziger Lichtblick wandelt sie in Gedanken, in Wirklichkeit um.

Träumerisch hatten wir das Ruder ergriffen und in die klare Tiefe geschaut. Da fällt unser Blick auf die seltsame Gestalt des Ruders unter dem Wasser, das wir schräg eingetaucht hatten, und das uns nun wie gebrochen erscheint. Dort vor uns schießt ein Fisch unter der Wasserfläche hin, so nahe, daß wir ihn mit Händen greifen zu können meinen; aber da wir zugreifen, gewahren wir erst, daß der Schein näher war als die Wirklichkeit. In der klaren Tiefe des Sees erblicken wir deutlich die Wurzeln und Stämme der Wasserpflanzen, die ihre grünen Blätter auf der Fläche wiegen, wir meinen das Ruder müsse sie erreichen können; aber tief unter ihm bleiben sie unberührt. Wir haben diese Erscheinungen schon viele tausend Male beobachtet, ohne mehr darin zu suchen, als eine zufällige Augentäuschung. Heute geben sie unsern Gedanken einen Halt und verscheuchen die Träume.

Wir befinden uns auf jenem Wellengebiete, das uns neulich das große Gesetz der Wellenbewegung erschloß. Seitdem hat sich unser Blick erweitert, das Reich der Töne, des Lichts hat sich mit den Wellen des Sees zu

einem einzigen Kreise von Naturerscheinungen vereinigt. Wir haben damit das Feld der Wissenschaft betreten, deren Hauptaufgaben schon der große Göthe in jene beiden vereinigte: Enthüllung der Gleichartigkeit im Verschiedenen und umgekehrt Erkenntniß der Verschiedenheit im Gleichartigen. Beide gleichzeitig verfolgt führen zur Klarheit, einseitig und vereinzelt aber stagnirt die Betrachtung, einmal als überlebendig, das andre Mal als getödtet. Damit ist auch unsrer jetzigen Betrachtung der Weg vorgezeichnet.

Wasserwellen, Schall, Licht sind Wellen, und in sofern gilt ein Gesetz für sie alle. Wellen sind Schwingungen, und diese Schwingungen, wenn sie aus einer Flüssigkeit in eine andere dichtere eintreten, müssen nach dem Gesetze aller Bewegung, da sie auf größere Widerstände treffen, verlangsamen. Tritt eine Welle, also eine Reihe schwingender Theilchen, in schräger Richtung ac in eine dichtere Flüssigkeit ein, so beginnen die einzelnen Theil-



chen nicht gleichzeitig, sondern nacheinander ihre langsameren Schwingungen. Die zuerst eintretenden Theilchen haben bereits neue Wellen gebildet, ehe die letzten eintreten, und so erzeugt sich eine Reihe vom ersten Eintrittspunkt an immer kleiner werdender Wellenkreise, die sich zu einer einzigen, in der veränderten Richtung cd fortschreitenden Welle ef zusammensetzen.

Wir sahen wohl einmal eine Kavalleriecolonne auf gebahnter Straße dahinsprengen. Wir bewunderten ihre schöne Ordnung, die sie trotz des schnellen Trabes behauptete. Da schneidet ein frischgepflügtes Ackerfeld in schräger Richtung ihren Weg. Wir sehen die Pferde des rechten Flügels, die zuerst das ungünstige Terrain betreten, einen langsameren Schritt annehmen, aber die schöne Linie ihrer Front bleibt ungeändert. Dennoch scheint die strenge militairische Ordnung zu leiden. Ohne Kommando, ohne Wissen vielleicht nimmt die Kolonne eine andere Richtung an, schwenkt etwas nach rechts. Es ging ihr wie der Welle, die sich in eine dichtere Fluth fortpflanzt. Auf dem linken Flügel ritt man noch im Trabe, während man auf dem rechten schon im Schritt vorrückt. Nach und nach verlangsamte die Bewegung von rechts nach links, und so mußte eine Schwenkung der ganzen Front von rechts nach links eintreten.

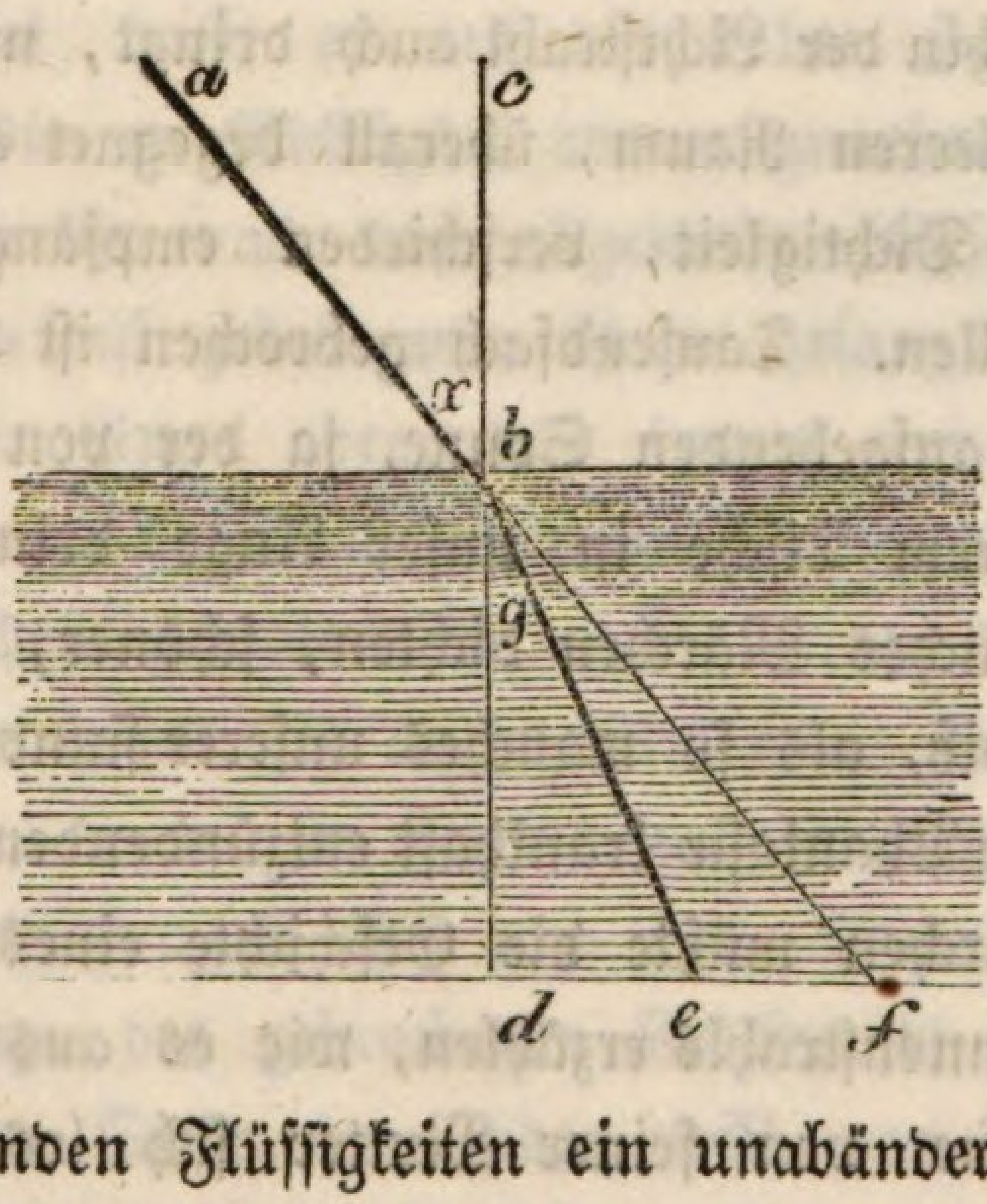
Gerade so wird jede Bewegung abgelenkt, die aus einzelnen bewegten Theilchen zusammengesetzt ist, wenn diese einzelnen Theilchen nach einander eine Verringerung ihrer Geschwindigkeit erfahren. So also wird vor allem die Welle abgelenkt, die das Urbild aller solcher zusammen-

gesetzter Theilchenbewegungen ist. Freilich konnten wir bei der Wasserwelle keine solche Ablenkung beobachten, weil nirgends zwei verschieden dichte Flüssigkeiten nebeneinander ihre Oberflächen ausbreiten. Auch beim Schalle entging eine solche Richtungsänderung, wiewohl sie häufig genug stattfinden muß, unsrer gewöhnlichen Beobachtung, weil es gerade die Richtung war, worüber uns das Ohr am meisten in Ungewißheit ließ. Beim Lichte dagegen ist es gerade die Richtung, wovon uns das Auge die sicherste Kunde giebt. Wir sehen nicht die fortschreitende Lichtwelle, wir empfinden nur die Richtung, in welcher sie unsern Sehnerv trifft, den Strahl. Beim Lichte grade drängen sich die Brechungserscheinungen darum so unabweislich auf.

Gleich jener Reitercolonne wird der Lichtstrahl, die Richtung der fortschreitenden Lichtwelle, abgelenkt, gebrochen, wenn er in ein dichteres Mittel, aus der Luft in das Wasser oder in eine dichtere Luftschicht, eintritt. Er wird im entgegengesetzten Sinne gebrochen, wenn er das dünnere Mittel mit dem dichteren vertauscht, wenn er aus dem Wasser in die Luft tritt, gleich einer Reiterkolonne, die das gepflügte Feld wieder mit dem festen Rasenboden vertauscht. Das war der Grund jener Erscheinungen im klaren Wasser des Sees, die uns aus unsern Träumereien aufweckten. Das Ruder mußte uns gebrochen, der Fisch und die Pflanzen des Grundes mußten zur Oberfläche gehoben erscheinen, weil die Lichtstrahlen, die sie unserm Auge sichtbar machten, beim

Eintritt in die Luft abgelenkt, von höher liegenden Punkten herzukommen schienen.

Ein Gesetz natürlich bestimmt auch diese Abweichungen. Zufall herrscht nie, wo Bewegungen in der Natur auftreten; denn die Kräfte, welche die Bewegungen hervorrufen, bedingen auch ihre Abänderungen. Die Verlangsamung der Bewegung beim Eintritt in dichtere Mittel war die Ursache der Brechung, und der Grad dieser Verlangsamung wird natürlich das Maaß der Brechung abgeben. Der Grad dieser Verlangsamung hängt aber bei demselben brechenden Mittel von der Richtung des auffallenden Strahles ab. So muß ein gesetzlicher Zusammenhang bestehen zwischen den Winkeln des auffallenden und des gebrochenen Strahles, zwischen dem Einfallswinkel x und dem Brechungswinkel y. Die Wissenschaft hat diesen Zusammenhang dahin gefunden und ausgesprochen, daß das Verhältniß zwischen den Sinus dieser beiden Winkel für dieselben brechenden Flüssigkeiten ein unabänderliches ist. Dieses feste Verhältniß, das man das Brechungsverhältniß genannt hat, ändert sich natürlich mit der Dichtigkeit und Natur der brechenden Mittel. Es ist



kleiner beim Uebergange des Lichts aus der Luft in Eis als in Wasser, größer beim Alkohol, beim Terpentinöl, bei Krystallen, Glas und gar bei Diamanten. Während also ein Lichtstrahl, der mit einem Einfallswinkel von 10° eintritt, im Wasser unter 7° 28′ gebrochen wird, beträgt diese Brechung bei demselben Einfallswinkel im Glase 6° 8′.

Ein Gesetz ist gleichsam nur der vereinfachte, abgekürzte Ausdruck für eine Vielheit und Mannigfaltigkeit von Einzelnheiten, ist gleichsam die symbolische Knospe der bunten Erscheinungsblüthen. Mit der Entdeckung eines Gesetzes erschließt sich auch stets eine neue Welt. Groß und weit ist aber das Gebiet der Erscheinungen, welche uns das Gesetz der Brechung des Lichts eröffnet. Wohin der Lichtstrahl auch dringt, nirgends trifft er einen luftleeren Raum, überall begegnet er Stoffen, verschieden an Dichtigkeit, verschieden empfänglich für seine zarten Wellen. Tausendfach gebrochen ist der Lichtstrahl, der von der aufgehenden Sonne, ja der von der Studirlampe auf unsrem Tische in unser Auge dringt. Es ließe sich ein köstliches Märchen dichten, schöner, wahrer und bildender gewiß, als so manches unserer sinnverwirrenden, die kindliche Phantasie krankhaft entzündenden Ammenmärchen. Dies Märchen müßte die Geschichte eines Sonnenkindes, eines Sonnenstrahls erzählen, wie es aus kindlicher Lust in die Ferne von seiner Mutter sich losreißt und auf zarten Aetherwellen zur Erde niederschwimmt, wie es, von den rauhen Wogen der Atmosphäre wild hin- und hergeworfen, endlich von dem sanften Grün und dem freundlichen

Blüthenschmuck einer Wiese gelockt, eine Ruhestätte zu finden hofft, wie es dann, auch von dem zarten Grashalm, von dem weichen Blumenkelch zurückgestoßen, in den funkelnden Thautropfen flüchtet, bis es auch hier getäuscht, gebrochen und gebeugt in das klare Auge des Menschen schlüpft, um zum Dank für die Rettung aus diesen Gefahren hier ein liebliches Bild jener Welt, über die seine Mutter gebietet, zu zaubern und aus den Tiefen der Seele die Boten seiner Sehnsucht zu senden bald hinauf zur Mutter, bald tief in die Augen der andern Menschen zu den gleich ihm gefangenen Geschwistern.

In der That, wechselvoller als die Meereswelle selbst ist das Geschick der Lichtwelle in ihrem Laufe durch die Körperwelt. Vom fernen Weltkörper, von der Sonne, vom Stern ausgesendet, trifft er auf die dichte Hülle unsrer Atmosphäre. Die an Dichtigkeit immer zunehmenden Luftschichten lenken ihn nach dem allgemeinen Gesetze immer mehr ab, und auf gekrümmter Bahn gelangt er in unser Auge. Unser Auge aber, das immer nur in der gradlinigen Richtung des ankommenden Lichtstrahles den Lichtquell zu suchen gewohnt ist, sieht darum die Sonne, sieht den Stern höher als er in Wirklichkeit steht. Wir sehen die Sonne, wenn sie bereits untergegangen und ehe sie noch aufgegangen ist; und der Astronom muß genau die Abwege des gebrochenen Lichtstrahls berechnen, wenn er den Stern da finden will, wo ihn seine Rechnung hinweist. Das scheinbare Zittern der Gegenstände in erhitzter Luft ist gleichfalls eine Folge der durch ungleich dichte Luftschichten bewirkten Brechun-

gen des Lichts und beweist, wie gering Veränderungen sein können, um in ihren Folgen bemerkbar zu werden. Die von der bewegten Luft bald nach der einen bald nach der andern Seite hin gebrochenen Lichtstrahlen kommen in wechselnden Richtungen in unser Auge und erzeugen jenes scheinbare Zittern. Das Funkeln der Sterne beruht wahrscheinlich auf ähnlichen Ursachen. Bei dem außerordentlich kleinen Durchmesser der Fixsterne bewirkt schon die geringste Veränderung in der Strahlenbrechung eine scheinbare Veränderung ihrer Stellung, ein Hin- und Herschwanken, ein Funkeln. Die Planeten behaupten ihr ruhiges klares Licht, weil ihr scheinbarer Durchmesser größer ist als die stärkste Veränderung, welche der augenblickliche Wechsel der Strahlenbrechung zu bewirken vermag.

Wer mit den Ursachen und Gesetzen der Naturerscheinungen nicht vertraut ist, der hält sie gewöhnlich für seltner als sie sind, wie, wer nie in die Tiefen des Seelenlebens eindrang, seine Erscheinungen nur im Verbrechen oder in der Heldenthat, in romanhafter Liebesschwärmerei oder in der Leidenschaft korsischer Blutrache aufsucht. Wenn wir von einer Strahlenbrechung des Lichts hören, so denken wir dabei höchstens an jene astronomische oder noch mehr an die märchenhafte und poetische Schilderung der Fata Morgana, die wir so oft in Büchern lasen, an jenes wunderbare Zauberbild von prachtvollen Schlössern und Säulenhallen, von hohen Thürmen und Wiesen mit Heerden und Menschenhaufen, wie es zuweilen an den Küsten von Reggio aus dem Meeresspiegel auftaucht, ein durch außergewöhnliche Strahlen-

brechung gehobenes Lichtbild der fernen Stadt Messina jenseits der Meerenge. Aber die Naturerscheinungen zeigen sich nicht bloß in Wundern zur Lust und zum Entsetzen des Menschen. Das vom Wasser gehobene Bild des Ruders war nichts andres als jene Fata Morgana. Wir suchen die Erscheinungen nur nicht in der Alltäglichkeit. Wer denkt bei dem spiegelnden Glanze eines leeren Glases, das er in Wasser taucht, wer bei dem Schimmer der Seide, beim Funkeln der Edelsteine an eine Brechung des Lichts! Wir müssen die Erscheinung in ihrem Wesen erfassen, um sie in ihren wechselnden Formen zu erkennen.

Wir haben gesehen, daß die Brechung des Lichts aus der Aufeinanderfolge der verschiedenen Schwingungen hervorgeht, welche die einzelnen Theile einer schief auffallenden Lichtwelle in den Aethertheilchen eines Körpers erregen. Je schiefer ein Lichtstrahl auftrifft, desto weniger Schwingungen wird er natürlich nach dem allgemeinen mechanischen Gesetze in dem fremden Körper erregen. Dasselbe wird aber auch mit einem Lichtstrahl stattfinden, der nach seiner Brechung einen Körper verläßt. Seine Schwingungen werden sich um so weniger der Umgebung mittheilen, je mehr er gebrochen, je geringer die Neigung ist, unter welcher er gegen die Oberfläche des Körpers fortschreitet. Welches werden nun die Folgen davon sein? Uebersetzen wir uns die Erscheinung in unsre gewöhnliche Sprache! Schwingungen sind Licht. Je schiefer ein Lichtstrahl also auffällt, oder je näher er gegen die Oberfläche des Körpers gebrochen wird, desto weni-

ger Licht dringt in den Körper ein oder aus ihm hervor. Ja es wird eine Grenze geben, wo gar kein Licht den Körper mehr zu verlassen oder ihn zu durchdringen vermag, wo in dem einen Falle nur das Innere, im andern nur die Außenfläche das ganze Licht des gebrochenen Lichtstrahls empfängt. In die Sprache der Erscheinungen endlich übersetzt, wird sich uns ein spiegelnder Glanz darbieten, der von der Fläche oder aus dem Innern des Körpers kommt und einer verstärkten Spiegelung zu gleichen scheint. Das ist die Erscheinung der sogenannten totalen Reflexion.

Diese sonderbare Lichtbrechungserscheinung hat einen wesentlichen Einfluß auf den Glanz unserer durchsichtigen Körper. Die innere Zurückwerfung der Lichtstrahlen vermag die Stärke der Lichtausströmung, des Glanzes oft auf das Doppelte und Vierfache zu erhöhen. Aus dem Brechungsverhältniß eines Körpers läßt sich darum oft selbst auf die Art des Glanzes schließen, welchen seine polirten Flächen zeigen müssen. So deutet die größte Brechbarkeit auf Metallglanz, eine geringere auf Diamantglanz, die geringste endlich auf Glasglanz oder Seidenglanz. Das Wunder, welches der Schleifer durch seine Kunst am Demant bewirkt, beruht nicht in der gewöhnlichen Brechung, sondern in der funkelnden Spiegelung der eintretenden Strahlen. In diesem wichtigen Zusammenhange zwischen dem äußern Glanze und dem innern Wesen des Körpers hat die Wissenschaft sogar ein Mittel geliefert, Tugenden zu entdecken, die unter unscheinbarer, schmutziger Hülle versteckt liegen. Rauhe Oberflächen näm-

lich vermögen oft den durchsichtigsten Körper völlig undurchsichtig zu machen. Das sehen wir ja am mattgeschliffenen Glase. Wie soll man nun den funkelnden Edelstein unter einer solchen rauhen Außenfläche errathen? Wie ist es gar möglich, auch wenn man die edle Natur des Steines bereits kennt, seine innern Schäden, seine Risse zu entdecken, die ihm vielleicht jeden Werth rauben und die mühsame Arbeit des Schleifens völlig nutzlos machen können! Die Wissenschaft hat auch hier das Mittel gefunden, durch den Schein zum innern Wesen durchzudringen, und wenn der Menschenkenner vom Optiker lernen wollte, würde er sich manche Täuschung durch rauhe oder glatte Außenseiten ersparen. Dies räthselhafte Mittel des Optikers beruht nämlich auf der Eigenthümlichkeit des Körpers, dessen Durchsichtigkeit durch die Unebenheiten der Oberflächen gestört oder vernichtet war, diese Durchsichtigkeit wieder vollkommen anzunehmen, wenn man ihn in eine Flüssigkeit bringt, welche dasselbe Brechungsvermögen, wie er selbst, besitzt. Eine solche Flüssigkeit aber ist leicht herzustellen durch Mischung verschiedener in ihrem Brechungsvermögen bekannter Flüssigkeiten. Eine Mischung von Cassia- und Olivenöl, der bekannte canadische Balsam, das Sassafrasöl und andere ätherische Oele geben dem Juwelier die Möglichkeit, nicht nur den wahren Edelstein von der künstlichen Paste zu unterscheiden, sondern auch alle Risse in seinem durchsichtig gewordenen Innern zu entdecken, die seinen Werth beeinträchtigen könnten. So sollte der Menschenforscher nur vor allem immer die entsprechenden Umgebungen

aufzufinden suchen, welche der Menschenseele, die er erforschen will, ihre volle Klarheit zu verleihen und ihre inneren Tugenden und Risse an das Licht zu bringen vermögen.

Freilich müssen solche Abwege, auf denen die Lichtwellen von den Körpern zu unserm Auge gelangen, auch manche Täuschungen mit sich führen. So klein und bedeutungslos diese Täuschungen nun auch erscheinen, wenn nur ein Glas Wasser es ist, welches die Lichtstrahlen ablenkt, und die Gegenstände an seinem Rande bald unserm Auge entzieht, bald verkehrt auf seiner Oberfläche erscheinen läßt, jenachdem wir von oben oder von der Seite darauf blicken; so großartig und wunderbar können sie werden, wenn durch eigenthümliche Umstände ganze Luftschichten zur Erzeugungsstätte solcher Trugbilder gemacht werden.

Den Reisenden auf offner See oder in endlosen Wüsten erscheinen bisweilen luftige Spiegelbildee über fern hinsegelnden Schiffen oder unter vereinsamten Palmengruppen, als ob ein geheimnißvoller Spiegel in der Luft oder am Boden sie zurückwerfe. Wenn dem Seefahrer diese Erscheinung sich zeigt, so kann er gewiß sein, daß das Thermometer in der Höhe seines Mastes einen höheren Stand anzeigen wird, als unten auf dem Verdeck. Eine wärmere, dichtere Luftschicht befindet sich über seinem Schiffe. Durch die untere, dichtere Luftschicht gelangen die Lichtstrahlen wie sonst in sein Auge, es sieht das ferne Schiff unverändert. Aber auch in die obere, dünne Luftschicht gelangen Strahlen und unter so schiefer

Richtung, daß sie diese Schicht nicht durchdringen, sondern vollkommen von ihr zurückgeworfen werden. Wir können uns diesen Vorgang nicht besser deutlich machen, als wenn wir ihn mit jenem Spiele vergleichen, mit dem wir uns als Kinder so manchmal auf Spaziergängen am Ufer eines Sees oder Flusses belustigten. Wir suchten flache, leichte Steinchen oder Scherben und warfen sie möglichst flach gegen die Wasserfläche. Siehe da, das Gesetz der Schwere zog sie nicht in die Tiefe des flüssigen Elements, sie hüpften leicht und weit hin über seine Fläche, wie über eine feste Decke. So hüpfen auch die schräg auffallenden Lichtstrahlen an der Luftschicht hin, und nur die minder flach auffallenden dringen ein, um auf dem gewöhnlichen Wege zu enteilen und den Gesetzen der Brechung zu verfallen. Die von den tieferen Theilen des fernen Schiffes ausgehenden Strahlen durchdringen daher allerdings anfangs die dünne Luftschicht, bis sie durch Brechung abgelenkt endlich in noch höheren Schichten schief genug anlangen, um einer solchen vollkommenen Zurückwerfung fähig zu sein. Die zurückgeworfenen Lichtstrahlen sind es, die in das Auge des Seemanns gelangen und das verkehrte Luftbild erzeugen, das in der That einem luftigen Spiegel seinen Ursprung zu verdanken scheint.

Wenn dem einsamen Wüstenwandrer das lockende Traumgesicht weiter Wasserflächen, in denen die Palmen der Oase sich spiegeln, am fernen Horizonte auftaucht, dann sind es wieder nicht die krankhaft erregten Sinne oder die erhitzte Phantasie, sondern einfach die Wärme-

und Dichtigkeitsverhältnisse der Luft, welche dies spottende Traumbild zaubern. Ueber dem von den senkrechten Strahlen der Wüstensonne erhitzten Erdboden haben sich warme, dünne Luftschichten gebildet. Die aus der Ferne vom Gipfel der Palmen kommenden Lichtstrahlen dringen von oben her in diese dünnen Luftschichten ein, werden hier gebrochen und abgelenkt und treffen in ihrem Fortgang immer schiefer und schiefer auf die folgenden Luftschichten, bis sie auf die unterste, dünnste so schief auffallen, daß kein Durchdringen mehr möglich, daß sie gänzlich von ihr zurückgeworfen werden. Diese zurückgeworfenen Strahlen gelangen in das Auge, und das Auge sucht den Gegenstand in der Richtung dieser Strahlen, nimmt sein luftiges Spiegelbild in der Tiefe und verkehrt unter seinem wirklichen Orte wahr. Nur von den untersten Punkten des Baumes und des Erdbodens gelangen keine Lichtstrahlen mehr in das Auge, es blickt auf diese unterste Luftschicht wie auf eine glänzende Spiegelfläche, und wenn schwache Luftströmungen diesem leeren Raume eine zitternde wellenartige Bewegung geben, so ist das täuschende Bild einer Wasserfläche vollendet. Von der glühenden Hitze ermattet, eilt der Wandrer den Ufern des vermeinten Sees entgegen, um bitter enttäuscht sich einsamer und trostloser als je zu fühlen in der dürren, wasserlosen Wüste.

Wir brauchen uns aber so wenig auf Meere und in Wüsten, als in die Kabinette der Physiker zu begeben, um den Naturerscheinungen nachzuspüren. Es giebt durchsichtige Körper genug, und sie alle, gleichviel ob

flüssig oder fest, müssen uns Brechungserscheinungen zeigen. Nicht aus dem Grunde dieses Teiches allein, nicht aus der Ferne des Himmelsraumes bloß dringen die Lichtstrahlen durch brechende Mittel zu uns, und Wasser und Luft sind nicht die einzigen lichtbrechenden und ablenkenden Stoffe der Natur. Auch die Lichtstrahlen, die von außen in unser stilles Stübchen dringen und die Bilder der Dinge dort draußen in unsern Augen malen, müssen durchsichtige Körper, müssen die Fensterscheiben durcheilen und in diesen Fensterscheiben gebrochen werden, ehe sie zu uns gelangen. Aber wir gewahren doch keine Folgen dieser Brechung; wir sehen doch nicht wie bei dem Ruder im Wasser, bei dem aufgehenden Sterne irgend eine Verschiebung, irgend eine Verzerrung der Bilder!

An der geringen Dicke unsrer Fensterscheiben kann es offenbar nicht liegen, wenn die hindurchgehenden Lichtstrahlen der äußern Gegenstände durch sie keine merkliche Abänderung erleiden; denn von der Natur, nicht von der Dicke der brechenden Mittel, hängt, wie wir gesehen haben, die Größe des Brechungsverhältnisses ab. Aber wir müssen bedenken, daß bei jedem Durchgange von Lichtstrahlen offenbar zwei Brechungen, eine beim Eintritt, die andre beim Austritt, stattfinden, daß aber diese beiden Brechungen vollkommen entgegengesetzte, einander aufhebende sein müssen, wenn die Lichtwelle einmal von der Luft in das Glas, das andre Mal vom Glase in die Luft sich bewegt. Nur auf die Flächen kommt es noch an, welche die brechende Glasschicht be-

grenzen. Sind diese Flächen parallele, wie bei unsern Fensterscheiben, so bleiben natürlich auch die ein- und austretenden Strahlen, deren Ablenkungen ja gleich sind, einander parallel, und die einzige Wirkung der brechenden Glasscheibe ist eine geringe Auseinanderrückung der Strahlen, die aber nur bei etwas dicken Scheiben, und wenn man sehr schräg durch sie hindurchsieht, bemerkbar werden kann.

Ganz anders gestaltet sich der Verlauf der Erscheinung, wenn die Flächen, an welchen sich der Lichtstrahl bei seinem Ein- und Austritt bricht, nicht parallele, sondern unter einem mehr oder minder spitzen Winkel gegeneinander geneigte sind, wie es am einfachsten bei einem dreiseitigen Glasprisma stattfindet. Der Winkel, unter welchem der Lichtstrahl die neue brechende Schicht trifft, äußert eben so gut beim Eintritt in die Luft, als beim Eintritt in das Glas seinen Einfluß auf die Richtung der Brechung. Sind beide Winkel verschieden, so kann die zweite Brechung die erste nicht mehr aufheben, der Lichtstrahl kann nach seinem Austritt aus dem Glase nicht mehr dieselbe Richtung wie vor seinem Eintritt verfolgen, er muß eine neue Ablenkung erfahren haben. Am deutlichsten wird uns dieser Vorgang werden, wenn wir zu unserm freilich etwas trivialen Vergleiche zurückgehen, wenn wir jene Reitercolonne über den gepflügten Acker weiter verfolgen. Als die Reitercolonne in schräger Richtung auf den Acker stieß, machte sie eine kleine Schwenkung nach rechts, weil der rechte Flügel seine Bewegung bereits verlangsamte, während der linke Flügel noch in

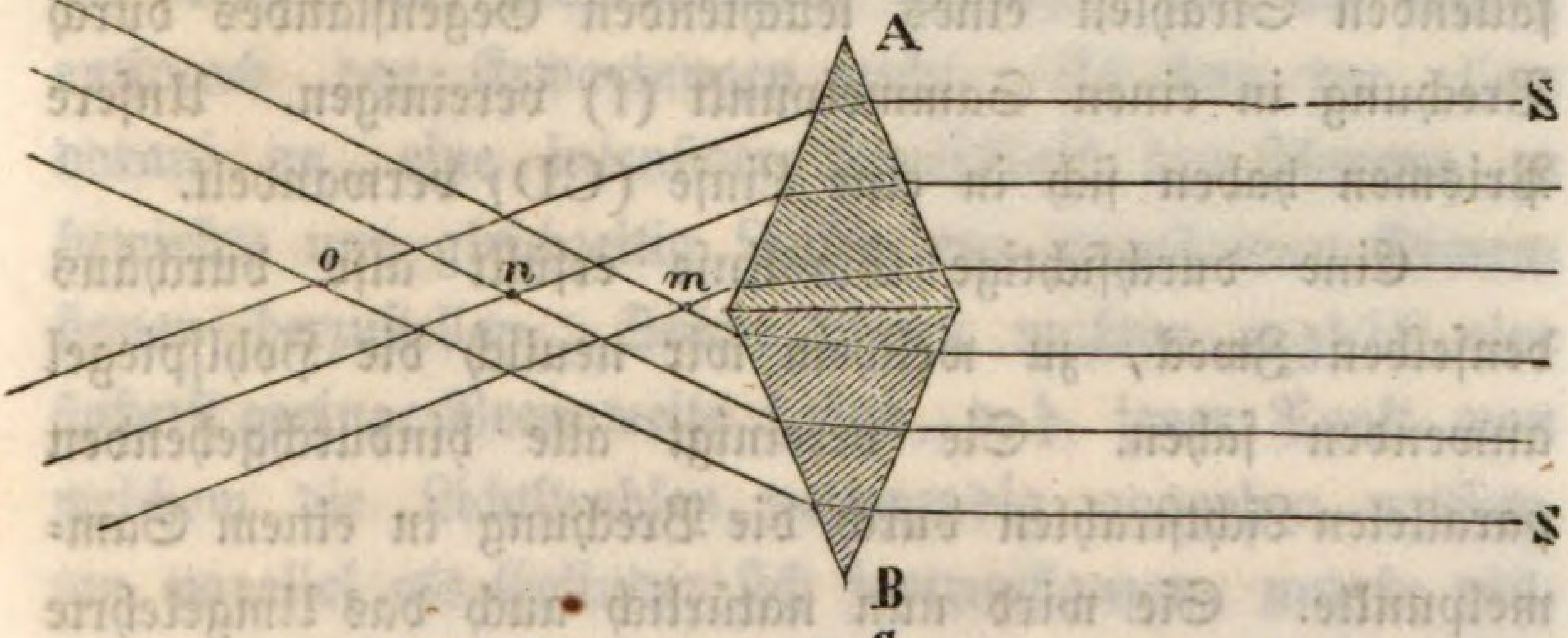
vollem Trabe vorrückte. Wäre das Ackerfeld nun ein paralleler Streifen, so würde der rechte Flügel auch wieder etwas früher auf dem festen Rasenboden anlangen und seinen schnelleren Schritt annehmen können, während der linke Flügel noch mit den Hindernissen des weichen Bodens zu kämpfen hätte. Die ganze Colonne würde also abermals dieselbe Schwenkung nach links machen, die sie vorher nach rechts machen mußte, und so wieder in derselben Richtung wie vorher fortsprengen. Bildet der Acker aber ein Dreieck, so wird der linke Flügel einen schmäleren Theil desselben zu durchschneiden haben und darum seine Grenze eher erreichen als der rechte und dadurch eine Schwenkung der ganzen Colonne nach rechts, also eine gegen die ursprüngliche völlig veränderte Bewegung derselben veranlassen. Ganz dasselbe aber geschieht mit dem Lichtstrahl oder vielmehr mit den Schwingungen, deren Fortpflanzung uns die Erscheinung des Lichtstrahls erzeugt, wenn ihre Bewegung durch ein brechendes Mittel gehindert wird, und die schwingenden Theilchen durch verschieden lange Strecken und in verschieden langen Zeiträumen mit diesen Hindernissen in Berührung kommen. Lichtstrahlen, die durch ein dreiseitiges Glasprisma gebrochen werden, erleiden also wirklich eine Ablenkung, nicht bloß eine Auseinanderrückung, wie bei der Glasplatte. Das Auge sieht einen Gegenstand durch das Prisma tiefer unten oder höher oben, jenachdem der brechende Winkel des Prismas nach unten oder nach oben gerichtet ist. Jeder solcher brechender Winkel erzeugt dieselbe Verrückung des Bildes, und so kommt

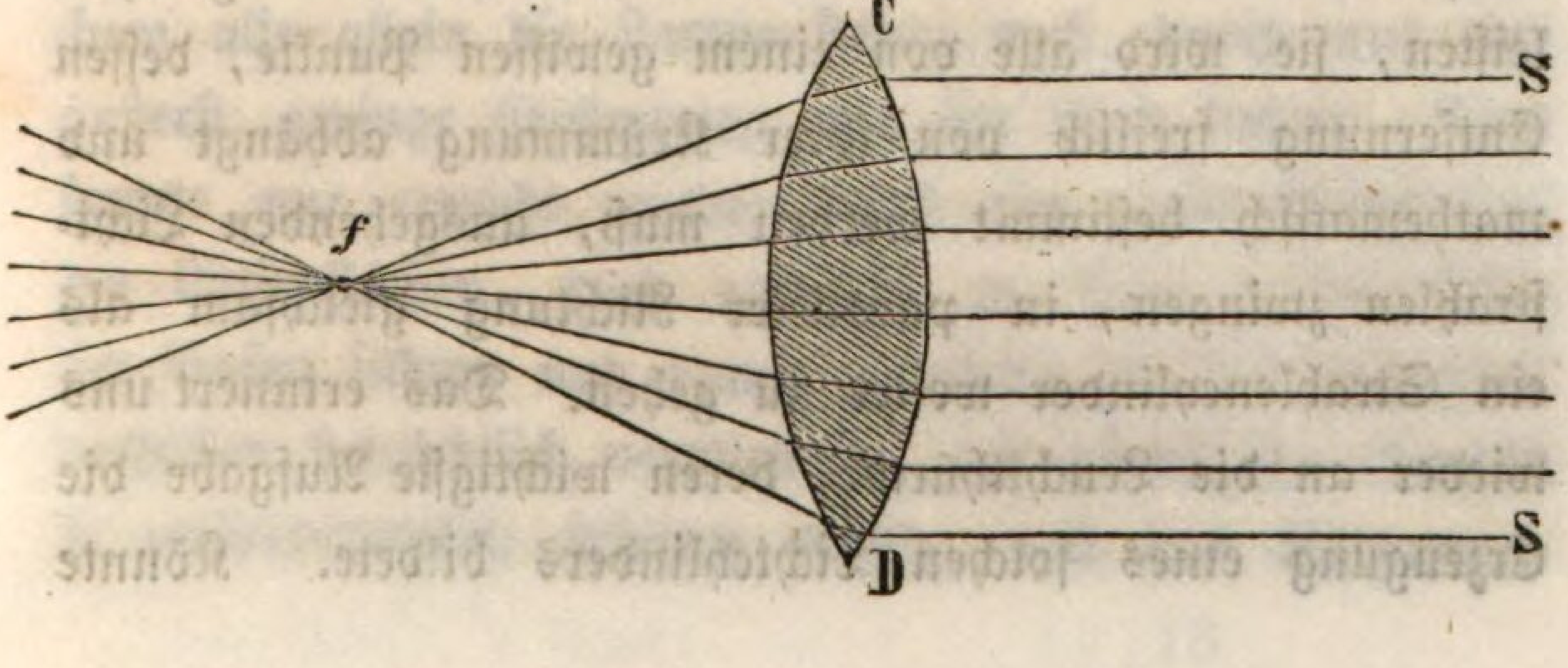
es, daß wir durch vielseitig geschliffene Gläser eine Menge weithin zerstreuter Bilder desselben Gegenstandes erblicken, ein Spiel, das uns als Kinder so manchmal entzückte, ohne daß wir dessen ernste Bedeutung für das Leben noch ahnten.

Was dem ungebildeten Auge störend, dem kindlichen Auge höchstens ergötzlich erscheint, das vermag, erfaßt und beherrscht von dem Blicke der Wissenschaft, ein unschätzbares Hülfs- und Zaubermittel in ihrem und dem Dienste der Menschheit zu werden. Die Zerstreuung, welche die Lichtstrahlen bei ihrer Zurückwerfung vom Spiegel erfuhren, wurde zu einem Mittel ihrer Vereinigung, zu einem Zaubermittel für wunderbare Bilder, die vergrößert oder verkleinert, bald in der Luft schwebten, bald auf der Fläche der gekrümmten Spiegel zu haften schienen. Man vereinigte gleichsam nur eine unendliche Zahl von Spiegeln zu einer bestimmten Krümmung, und dieselben Spiegel, die einzeln die Strahlen eines leuchtenden Punktes in alle Weltgegenden zerstreut hätten, vereinigten jetzt all ihr Licht in einem gemeinsamen Brennpunkt. So wird auch die Ablenkung des Lichts durch die Brechung bei geeigneter Gestaltung der brechenden Mittel zu einer Vereinigung der Lichtstrahlen, zu einer Erzeugung von Bildern führen.

Von den Tausenden von Sonnenstrahlen, die ihrer weiten Entfernung wegen unter sich parallel auf ein gläsernes Prisma fallen, wird jeder in gleicher Weise gebrochen und abgelenkt, da jeder unter dem gleichen Winkel die brechenden Flächen trifft. Wenn aber zwei gleiche Glas-

prismen (A u. B) so mit einander vereinigt werden, daß der brechende Winkel des einen nach oben, der des andern nach unten gerichtet ist, so wird es offenbar zwei Lichtstrahlen geben, die an entsprechenden Punkten vom obern und untern Prisma in gleicher Weise gebrochen, um den gleichen Winkel abgelenkt werden, nur der eine so viel nach unten, wie der andre nach oben, und die sich darum hinter jenen Prismen nothwendig begegnen, in einem Punkte (m) vereinigen müssen. Für jeden Lichtstrahl, der das obere Prisma trifft, wird sich aber ein anderer das untere treffende finden lassen, der durch die Brechung eine ähnliche Vereinigung mit dem ersten erfährt. Freilich wird jedes Paar solcher Lichtstrahlen in einer andern Entfernung und in einem andern Punkte (m, n, o) hinter den





Prismen diese Vereinigung zeigen. Diese Punkte werden offenbar von der Neigung abhängen, unter welcher die Lichtstrahlen auf die brechenden Flächen fallen. Ließe sich nun diese Neigung ändern, d. h. ließen sich die Flächen der Prismen an den einzelnen Punkten um eine Kleinigkeit verändern, so müßte es möglich sein, die sämmtlichen Vereinigungspunkte der gebrochenen Lichtstrahlen in einen einzigen zu sammeln. Daß eine solche Aenderung aber möglich ist, und daß sie in einer bestimmten Krümmung der brechenden Flächen bestehen muß, ist selbstverständlich. Der Mathematiker möge berechnen, welcher Art diese Krümmung sein muß; uns genügt es zu wissen, daß sich brechende Körper mit gekrümmten Flächen herstellen lassen, welche die gesammten, parallel auffallenden Strahlen eines leuchtenden Gegenstandes durch Brechung in einen Sammelpunkt (f) vereinigen. Unsere Prismen haben sich in eine Linse (CD) verwandelt.

Eine durchsichtige Glaslinse erfüllt also durchaus denselben Zweck, zu welchem wir neulich die Hohlspiegel anwenden sahen. Sie vereinigt alle hindurchgehenden parallelen Lichtstrahlen durch die Brechung in einem Sammelpunkte. Sie wird nun natürlich auch das Umgekehrte leisten, sie wird alle von einem gewissen Punkte, dessen Entfernung freilich von ihrer Krümmung abhängt und mathematisch bestimmt werden muß, ausgehenden Lichtstrahlen zwingen, in paralleler Richtung gleichsam als ein Strahlencylinder weiter zu gehen. Das erinnert uns wieder an die Leuchtthürme, deren wichtigste Aufgabe die Erzeugung eines solchen Lichtcylinders bildete. Könnte

man die Blenden der Leuchtthürme durch Linsen ersetzen, so müßte dadurch ein bedeutender Vortheil erlangt werden, da der Lichtverlust durch die Brechung des Glases jedenfalls dem ungeheuren Verluste, der bei der Zurückwerfung der Strahlen von einer Spiegelfläche eintritt, im Entferntesten nicht gleich kommen kann. Wollten wir an die französischen Küsten des Oceans und Mittelmeers wandern, so würden wir diesen Gedanken bereits ausgeführt sehen, und wir würden den erfinderischen Geist eines Mannes bewundern müssen, der sich hier in einer der größten Wohlthaten für die Menschheit bethätigte. Fresnel war es, der trotz aller Schwierigkeiten diesen Gedanken zur That machte.

Schon früher hatte man in England die Einführung der Linsen auf Leuchtthürmen versucht; aber der Erfolg entsprach den Erwartungen nicht. Es kam vor allem darauf an, eine intensivere Leuchtkraft der Flamme zu bewirken und gleichzeitig Linsen von ungeheuren Dimensionen herzustellen. Solche Linsen mußten zugleich eine äußerst geringe Brennweite haben, d. h. jener Punkt, von welchem die Lichtstrahlen nothwendig ausgehen müssen, um parallel als Cylinder sich fortzupflanzen, und in welchem also allein die Lampe stehen muß, durfte nur eine äußerst geringe Entfernung von der Linse haben. Dies konnte nur erreicht werden durch eine große Krümmung der Linsenflächen, was natürlich zu einer großen Dicke der Linsen führen und damit einerseits die Durchsichtigkeit derselben beträchtlich vermindern, andrerseits ihr Gewicht so außerordentlich steigern müßte, daß das Räderwerk,

welches das ganze Leuchtsystem in Bewegung setzt, schnell abgenutzt und zerstört werden würde. Ueberdies ist es noch heut zu Tage nicht möglich geworden fehlerlose Glasmassen von solcher Dicke zu erzeugen, wie sie für derartige Linsen erforderlich gewesen wären.

Fresnel überwand alle diese Schwierigkeiten. Im Verein mit seinem Freunde Arago gelang ihm die Herstellung einer Lampe mit mehreren concentrischen Dochten, deren Glanz dem von 25 der besten Lampen mit doppeltem Luftzuge entsprach. Die Uebelstände des großen Gewichts und der geringen Durchsichtigkeit der ungeheuren Linsen umging er dadurch, daß er gleichsam die eine Linse aus einer Menge kleiner Stücke zusammensetzte. So strömt nun von der einzigen Lampe des Leuchtthurms aus durch die Linse ein Lichtglanz, welcher dem von 3—4000 Lampen mit doppeltem Luftzuge oder eines Drittheils der gesammten Gasflammen von Paris gleichkommt, und der Schiffer, dem dieser glänzende Stern in seinen regelmäßigen Wechseln am Horizonte aufflammt, wird bereits auf dem hohen Meere von der gefährlichen Nähe der Küsten benachrichtigt.

Die Uebereinstimmung zwischen den Linsen und den Hohlspiegeln muß sich natürlich auch auf andre Erscheinungen erstrecken, die mit ihrer Eigenschaft, auseinandergehende Lichtstrahlen zu vereinigen, zusammenhängen. Auch die Linse muß Bilder der Gegenstände erzeugen, deren Lichtstrahlen von ihr gebrochen werden. Wie beim Hohlspiegel muß auch hier jeder Gegenstand sein verkehrtes Bild hinter der Linse erscheinen lassen, bald näher, bald

entfernter, bald verkleinert, bald vergrößert, je nachdem der Gegenstand in größerer oder geringerer Entfernung sich befindet. Jener eigenthümliche Punkt, in welchem alle mit der Achse der Linse parallelen Strahlen vereinigt werden, bildet natürlich die Grenze für diese Erzeugung von Bildern. Zwischen ihm und der Linse kann der Gegenstand kein wirkliches Bild mehr erzeugen, und was das Auge dafür hält, ist nur ein Scheinbild, ein subjectives Bild, von der eignen Thätigkeit des Sehens dahin versetzt, wo die vom Gegenstande herkommenden Lichtstrahlen zusammenzutreffen scheinen.

Solche Bilder, welche nur das Auge erblickt, weil nur das Auge sie erzeugt, indem es die Strahlen, die zu ihm kommen, verfolgt und ihre vermeintlichen Ausgangspunkte zu einem vermeintlichen Bilde vereinigt, solche Scheinbilder können es auch nur sein, welche bei hohlgeschliffenen Gläsern auftreten. Denn hier werden offenbar die durchgehenden Strahlen durch die Brechung nicht genähert, sondern von einander entfernt, zerstreut. Solche zerstreute Strahlen können also nur hinter dem Hohlglase und nur scheinbar durch die Forderung des Auges Vereinigungspunkte finden. Das Auge sieht die Gegenstände, die es durch ein Hohlglas betrachtet, aufrecht, aber verkleinert und genähert, während ihm durch eine nahe an dem Gegenstand gehaltene erhabene Linse, dieser wohl auch aufrecht, aber vergrößert und entfernt erscheint. Nur erhabene Gläser und nur in gewisser Entfernung erzeugen wirkliche Bilder, die auf einer Fläche haften, ver-

kleinert oder vergrößert, ferner oder näher, aber stets verkehrt.

Blicken wir nun um uns! Was die sichtbare Welt uns bietet, sind Bilder. Nicht die Gegenstände selbst erblicken wir, sondern ihre Bilder, wie sie von den Lichtstrahlen, die in unser Auge dringen, erzeugt werden. Jede Ablenkung eines Lichtstrahls bedingt eine Aenderung des Bildes, und wo diese Ablenkung unsrer Beobachtung entgeht, da täuschen wir uns über das Wesen dessen, was wir erblicken, weil wir an eine Uebereinstimmung des Dinges draußen mit dem Dinge drinnen im Auge glauben. Und wie unendlich zahlreiche solcher Ablenkungen finden statt in dem Raume, der die Bilder der Dinge unserm Auge vermittelt! Luft und Wasser und jener Aether selbst, von dem man die fernen Himmelsräume erfüllt glaubt, bewirken Brechungen des Lichts, Ablenkungen seiner Strahlen. Aber die Kunst des Menschen weiß die Uebelstände selbst, die so störend der Treue seines Auges entgegenzutreten drohen, für die Erweiterung dieses Auges zu benutzen. Er schafft sich Gläser, welche die getrennten Strahlen wieder vereinigen, welche ihm die fernen Gegenstände im Bilde nahe bringen und die unsichtbar kleinen vergrößern. Durch die Linse eröffnet er sich zwei neue Welten. Sie zertheilt ihm die Nebelflecke des Himmels und lichtet ihm das Dunkel eines Jenseits, in dem nach ewigen Gesetzen gewaltige Welten kreisen, sie zertheilt die Nebel des eigenen Geistes, indem sie in den Sternen der Ferne die Gesetze und Ordnung der Heimath lesen läßt. Und wie sie die hehre

Poesie der funkelnden Nacht ihm eröffnet, so schafft sie ihm wunderbares Leben aus dem Staube, den sein Fuß zertritt. Sie führt ihn in das Innere der Berge und lehrt ihn schauen, was vor Jahrtausenden ein unendlich kleines Thierleben baute; sie zeigt ihm, wie es hoch in den Regionen der Luft, wie es am Grunde des Oceans lebt und webt, und wie es an der Spiegelfläche des Meeres ein seltsam phosphorisches Leuchten zaubert. Sie führt ihn in das Innere des Lebens ein, in das Geheimniß des organischen Baues und der organischen Entwickelung. Und aus dem Unsichtbarkleinen läßt sie ihn dasselbe Gesetz des Lebens und der Vernunft lesen, das in den Bahnen der Himmelskörper waltet. Welch einen Umschwung mußte diese kleine Glaslinse in der Weltanschauung der Völker hervorrufen! Und doch ist der Thautropfen ihr Urbild, und doch gehörte nur ein spielendes Kind dazu, um ihr alle diese Wunderthaten zu entlocken!

Fünftes Kapitel.

Licht- und Wärmewellen.

(Schluß.)

Zu keiner Zeit lockt die Natur freundlicher und unwiderstehlicher zur Einkehr in ihr stilles Reich, zu keiner Zeit drängt und zieht es drinnen in uns mächtiger zur Wanderung in's Freie, zur Entladung all des physischen und moralischen Staubes der Stube, zur Athmung des

frischen, freien Lebens, des Odems der allumfassenden, allerhaltenden Mutter, als an einem warmen, heitern, sonnigen Frühlingstage. Solch ein Tag ist ein Kuß des Himmels, ein Liebesblick der Natur! Lassen wir drinnen, was verdumpft und verrottet, verstäubt und erstorben ist, das ganze Heer der Philister und Dandys, der Akten= und Bücherwürmer, der Kaffeeschwestern und Bierbrüder; wer aber noch einen Frühling in sich fühlt, wem der Himmelskuß noch auf den Lippen brennt, der komme mit mir hinaus in die weite, lachende, deutsche Frühlingslandschaft!

Waldige und dunkle Gebirgszüge umgeben den Horizont; durch ein weites Thal zieht sich ein Fluß, geröthet vom Morgenroth, das über den halben Himmel flammt, und purpurn angeglühte Wolkenschichten hangen über Feldern, Höhen, Dörfern und kleinen grauen Städten. Nebel raucht an den Waldhängen und verzieht sich an den dunkelblauen Bergen; Burgen und Kirchthürme glänzen röthlich auf, und all diesen Reichthum einer Frühlingsmorgenwelt erhöht, ohne zu leuchten, die spät aufgegangene silberne Mondsichel.

Wir steigen zu einem der grauen Dörfchen nieder, welche in dem Grün der weiten Thalfläche schlummern, von Blumen= und Obstgärten umgeben zum Denkzeichen deutscher Sitte und deutschen Sinnes. Am Eingang des Dorfes steht unter einer mächtigen Kastanie, die bereits ihre grünen Finger aus dem weichen Flaum der Knospen zu strecken beginnt, eine Schmiede. Trotz der Morgenkühle, die uns Weichlinge mit leisen Schauern durch=

rieselt, finden wir den Meister in voller Arbeit. Wir sehen ihm mit Vergnügen zu, wie er glühende Eisenreifen um die Radkränze legt, und wie er so geschickt und leicht mit dem glühenden Eisen und dem schweren Hammer umgeht.

Guten Morgen, Meister, rufen wir ihm scherzend zu, legt eure Reifen auch nicht zu locker an, daß sie auf euren verdammten Gebirgswegen nicht etwa verloren gehen und Unsereinem Hals und Beine in Gefahr bringen!

Darum seien Sie unbesorgt, erwidert er freundlich; das heiße Eisen mag locker das Holz umschließen, aber wenn es kalt geworden und sich zusammengezogen, dann preßt es den Radkranz so fest zusammen, daß ich mit allen Schrauben und Hämmern es nicht fester hätte umlegen können. Sehen Sie, lieber Herr, setzt er mit gutmüthigem Spott hinzu, dem armen Holze geht es wie so manchem armen Menschen! In der Hitze der Leidenschaft fügt er sich leicht in jedes Band und jede Fessel; aber wenn die Leidenschaft erkaltet, dann schnürt ihn das Band zusammen, daß ihm der Athem vergehen möchte.

Hat der Mann nicht Recht? Ward nicht schon so mancher Kranz, der sich in der Gluth der Jugend um die Locken schmiegte, so mancher Ring, den Liebeswärme als Symbol ewigen Glückes auf den Finger steckte, so manche Krone, die im Heldenfeuer errungen ward, eine eiserne Fessel der Seele, die von magischer Gewalt immer enger und enger sich zusammenzog und Glück und Leben erstickte? Ward nicht so manches Versprechen, in

der Hitze der Erregung hingeworfen, eine niederdrückende Last, ein Joch der schmählichsten Sklaverei? Und welche teuflische Macht war es, die so lockend zu täuschen vermochte? Der schlichte Mann dort sagte, die Wärme sei es, welche so trügerisch die Fesseln erweitere. Die Wärme, dieser Quell, diese Urbedingung des Lebens, das Symbol des Höchsten und Edelsten, wonach unsre Seele, wonach Alles was lebt und athmet, sich sehnt, diese Wärme sollte der boshafte Stifter so vielen Unheils sein?

Es ist wahr, an die Wärme knüpft sich der Gedanke des Lebens. Der kalte Winter ist das Bild des Todes; sein erstarrender Athem wandelt die Schöpfung in ein schweigendes Grab. Bang drängt sich der Mensch um den häuslichen Heerd, um an seinem Feuer den engen Kreis des Lebens in der Familie wach zu erhalten. Schauerlich malt die Phantasie die eisigen Regionen der Pole, eine freudenlose, verkrüppelte Welt. Mit Entzücken schwebt die Sehnsucht der Tropenwelt zu, dem Paradiese der Erde, wo Farrn und Gräser sich zu Wäldern erheben, wo Hunderte von Pflanzen in einem einzigen Baume wurzeln, aus dessen dunkelm Laubgrün ihre bunten Blüthen und Früchte strahlen, wo das Leben in der Farbenpracht der Insekten und Vögel, in den Riesengestalten der Dickhäuter, in der elastischen Kraft der Raubthiere seine höchsten Triumphe feiert.

An die Wärme knüpft der Mensch den Gedanken des Lebens, schon dem Alterthum war sie die schöpferische Urkraft der Welt. Ein Centralfeuer ruhte im

Schooße der Erde, und die Erde selbst war ein Heerd der Götter. Vestalinnen bewachten den Römern das heilige Feuer im Tempel der Vesta, und die Deutschen und Slaven zündeten ihre Johannisfeuer auf den Bergen an zur Feier der Sonnenwende.

Der Wärme entlehnt noch heute die dichterische Sprache die Bilder kräftigen Lebens. Sie spricht von einer Gluth der Liebe, von einer Wärme des Gefühls; sie läßt den Jüngling für die Jungfrau entbrennen, den Redner die Herzen der Hörer entflammen. Wo der Mensch erkaltet für das Heilige und Wahre, für Vaterland und Recht, da erlahmt die Kraft, da schwindet die That.

Die Wärme verknüpft sich dem Licht in der Welt des Gedankens wie der Natur. Ein kaltes Licht ist wie der phosphorische Schein des Todes, ist ein trügerisches Gespenst. Zünden, erwärmen soll das Licht, beleben soll der Geist. Wenn aus dem lachenden Kindesauge der erste Lichtstrahl bricht, dann senkt er sich erwärmend in das empfängliche Mutterherz; und wenn wir uns, bang und von den Schlägen des Schicksals erkaltet, an den Busen der Mutter Natur werfen, dann wird es nicht nur klar in unsern Sinnen, sondern auch warm in unsern Herzen.

Herzenswärme! Wie die Erde unter grüner Hülle ewige Feuergluth birgt, so trägt der Mensch in sich einen Heerd, dessen Flammen lodern von der Geburt bis zum Tode. Herzenswärme ist der Urquell des Lebens!

Und die Wärme, diese trügerische und zugleich so

zauberische Macht, was ist sie? Wer löst uns das Räthsel ihres Wirkens in der Natur und im Menschenherzen?

Es gibt Fragen, die, im Augenblicke aufgeworfen, Tage, Jahre, Jahrhunderte zu ihrer Beantwortung verlangen, die Millionen von Menschen beschäftigen und von Millionen ungelöst in das Grab genommen werden. Aber es gibt auch Stimmungen, in denen wir für jede Frage, und wäre sie die schwierigste, sofort eine Antwort bereit haben. Mag man diese Stimmungen als Augenblicke leichtsinniger Ueberhebung oder umgekehrt als Augenblicke der Schwäche bezeichnen, indem der Mensch von dem Gipfel der Kraft und des Verstandes sich zur Leichtgläubigkeit des Kindes oder dem Schwachsinn des Greises herabläßt; sie haben offenbar einige Aehnlichkeit mit jenen Stimmungen, in denen der Aberglaube sich des Menschen bemächtigt, in denen der Gebildete, Weise selbst der Abgeschmacktheit fähig wird, die Bestimmung seines Lebens von den Launen eines Gewitterhimmels, vom Zuge eines Lufthauchs, von der Blätterzahl einer Blume oder von dem Fall eines Würfels abhängig zu machen. Ohne Verzug wird die Antwort gegeben, und oft entscheidet sie für Jahre, wie die Geschichte lehrt, für Jahrhunderte.

Wenn es die Frage nach dem Charakter eines Menschen gilt, da erfordert es gar mancher Beobachtung und gar mancher Vergleichung des Beobachteten; und bei aller vermeinten Sicherheit stellt sich oft nach Jahren erst die Täuschung heraus. Und wenn es die Frage

nach dem Wesen einer Naturkraft gilt, da sollte eine einzige Beobachtung, oft überdies eine flüchtige genügen, die Frage zu entscheiden? Die Alten machten es so; sie hatten auf jede Frage eine Antwort, für jedes Ding eine Erklärung; aber sie gaben sich kaum die Mühe, ihre Sinne zu gebrauchen, und die Schlüsse, die das Volk aus den rohesten Beobachtungen zog, wurden die Grundlage zu philosophischen Forschungen.

Wenn die Alten über die Wärme philosophirten, so ging es nicht anders, als daß sie eine so wichtige Erscheinung für ein Element erklärten, d. h. für einen jener unerklärlichen, von Anbeginn existirenden Stoffe, aus denen einst die Welt geschaffen wurde. Sie sahen nichts als das Ueberströmen der Wärme von einem Körper zum andern, sie sahen nur Verluste und Zunahmen. Ihr Gefühl lehrte sie wohl unterscheiden zwischen einer gewöhnlichen eisernen Kugel, die sie nach Belieben in den Händen halten konnten, und einer eisernen Kugel, welche durch das Feuer eines Ofens stark erhitzt worden war, und die sie nicht anrühren durften, ohne sich zu verbrennen. Aber sie sahen nur, daß die Kugel in dem Ofen etwas aufgenommen hatte, was sie draußen allmälig verlor, und was konnte dem schnell urtheilenden und nach Definitionen dürstenden Verstande einfacher sein, als dieses aufgenommene Etwas für einen Stoff zu erklären? Die Philosophie diktirte das Dasein eines Wärmestoffs, und die Alten waren damit fertig, und die Neuen blieben es lange Zeit. Noch vor sechzig Jahren lächelte man über jeden Zweifel an der Stofflichkeit der Wärme, und noch

heute hantirt mancher Chemiker und Physiker mit seinem Wärmestoff, als könne er ihn in Büchsen füllen und unter seinen Säuren und Salzen aufbewahren. Zwar ist der Wärmestoff mit der Zeit ein andrer geworden, man hat ihn zu einem unwägbaren Stoffe gestempelt, man hat ihm chemische Eigenschaften zuertheilt und ihn veranlaßt, wie die Säure mit dem Metalloxyde, chemische Verbindungen nach bestimmten Zahlenverhältnissen mit den Körpern einzugehen. Aber ein Stoff soll es doch einmal sein.

Wir brauchen nun weniger eilig mit unsrer Entscheidung zu sein, und das einfache Wort des Schmiedes hat uns noch vorsichtiger gemacht gegen die Lockungen eines ersten flüchtigen Eindrucks. Noch haben wir von der Wärme nichts erfahren, als was die Empfindung durch unsre Sinne uns davon lehrt. Wir nennen warm, was unserm Gefühle warm erscheint, und bezeichnen die Ursache dieser Empfindung mit dem Worte Wärme, unbekümmert, ob sie ein Stoff, eine Kraft oder was sonst sei. Jetzt werden wir unserm Gefühle Schweigen gebieten müssen, um der Beobachtung Raum zu gestatten, und diese Beobachtung wird vor allen sich auf die mancherlei Wirkungen der Wärme erstrecken müssen; denn über das Wesen einer Kraft oder eines wirkenden Stoffes geben nur die Wirkungen eine Aufklärung.

Eine Wirkung der Wärme war es, wodurch sie zuerst unsre Aufmerksamkeit erregte. Der eiserne Reifen war durch die Erhitzung des Schmiedefeuers ausgedehnt worden und zog sich nun bei seiner Erkaltung um den

Radkranz zusammen. Es wäre doch nun gar zu oberflächlich und trivial, wollten wir uns diese Ausdehnung des Eisens durch die Wärme in ähnlicher Weise vorstellen, wie etwa das Aufgehen des Brodteiges durch in seinem Innern entwickelte Gase, die beim Kaltwerden entweichen. Es wäre gar zu trivial, die Wärme sich in solcher Weise vorzustellen, zumal das Brod doch bei dem Erkalten leichter wird, aber noch Niemand auch nur den Verlust eines Millionstel Gramm bei einer kaltwerdenden Eisenkugel nachgewiesen hat. Wir wollen uns darum bescheiden, zu erklären: Es geht durch die Wärme eine gewisse innere Bewegung in den Körpern vor, welche die Ausdehnung derselben zur Folge hat.

Daß diese innere Bewegung durch die Wärme nicht so ganz unbedeutender Art ist, davon hätte uns einige Aufmerksamkeit auf die gewöhnlichen Erscheinungen des Alltagslebens längst überzeugen können. Manche Hausfrau ist schon darüber außer sich gerathen, daß sie einen Topf, den sie bequem in den Ofen geschoben, heiß geworden, nicht wieder herausziehen konnte, daß sie einen Plättbolzen, der kalt bequem in das Platteisen gepaßt hatte, rothglühend nicht mehr hineinbringen konnte. Noch häufiger hätten wir diese Beobachtung machen können, wo eine ungleichförmige Ausdehnung das plötzliche Zerreißen der Theile eines Körpers herbeiführt. Das Krachen geheizter eiserner Oefen, das Bersten des Eises an strengen Wintertagen, das Abspringen der Glasur an Kochgefäßen bei zu schneller Erhitzung, das sind Erscheinungen, in denen sich ziemlich

gewaltsam die ausdehnende Kraft der Wärme ausspricht. Holz und Papier krümmen und verwerfen sich, Gläser springen, wenn sie ungleich erwärmt werden.

Niemals tritt in der Natur eine Kraft in vereinzelter Erscheinung auf. Was wir in großartiger Gestalt, erschütternd und zerschmetternd, blendend und betäubend sich enthüllen sehen, von dem können wir gewiß sein, daß es in vieltausendfältiger Weise still und verborgen unter dem Unscheinbaren fortwirkt, langsam und unbemerkt Größeres und Gewaltsameres schaffend, als die einzelne überwältigende Erscheinung. Wie der mächtige Hebel nicht allein in unsern Maschinen, nicht allein in dem wuchtenden, mit seinen Wurzeln Felsen spaltenden Baumstamm, sondern auch in dem Flüstern der Blätter wirkt und durch die Länge des Blattstiels das stille Rauschen und Wogen der Lindenkrone, durch die Drehung des Blattstiels das unstete Zittern des Espenlaubes veranlaßt, so wirkt auch die ausdehnende Kraft der Wärme, dem Auge und Ohr unmerkbar, Felsen spaltend und zertrümmernd, stolze Bauwerke der Vernichtung preisgebend, störend und hemmend in die Ordnung und die Sicherheit unseres täglichen Lebens eingreifend. Die eisernen Klammern, mit denen wir Mauern und Schiffswände befestigten, lösen sich in der Hitze, die Maßstäbe, mit denen wir messen, verlängern und verkürzen sich unter unsern Händen, die Pendel und Spiralfedern unsrer Uhren verändern nach Tages- und Jahreszeit ihre Längen und beschleunigen oder verlangsamen den Gang der Instrumente, an denen wir unsre Zeit messen. Man

spreche nicht von der Kleinheit und Unbedeutendheit dieser Kraft. Jede Kraft kann gewaltig werden, wenn man die Bedingungen ihres Wirkens kennt und in rechter Weise benutzt. Durch die zusammenziehende Kraft sich abkühlender erhitzter Eisenstangen hat man die gewaltigen Mauern des Conservatoriums der Künste zu Paris wieder in ihre senkrechte Stellung zurückgeführt; durch dieselbe Kraft hat man mittelst weniger eiserner Reifen die Risse der großen Kuppel der Peterskirche zu Rom geschlossen. Die größten Baumeister mußten zum Schmiede in die Lehre gehen, um die Wunder ihrer Kunst vor dem Verfall zu retten.

Aber weder an das Außerordentliche noch an das unscheinbar Kleine pflegen sich unsre Vorstellungen zu knüpfen. Das Gewohnte, das Alltägliche liegt ihnen näher. Unter den tausend Ausdehnungserscheinungen der Wärme drängt sich uns sicherlich am ersten das Thermometer auf, die fallende und steigende Quecksilbersäule, an der wir die Wärmeverhältnisse unsrer Umgebung messen.

Kaum gibt es noch ein Dorf, kaum eine bürgerliche Wohnung, in der nicht ein Thermometer einen gewöhnlichen Hausrath bildete. Wir haben uns so sehr an die Unentbehrlichkeit dieses Instruments gewöhnt, daß wir uns gar nicht mehr vorzustellen vermögen, wie ohne seine Hülfe das bürgerliche Leben sich regeln sollte. Ehe der Geschäftsmann Morgens an seine Arbeit geht, ehe die Mutter ihr Kind ins Freie schickt, wird ein Blick auf das Thermometer geworfen, um sich Raths zu

erholen, ob eine leichtere oder wärmere Kleidung zu wählen sei. Im Krankenzimmer, in der Badestube hängt das Thermometer, und es wird ihm mit Recht oft mehr Achtung gezollt, als den Arzeneiflaschen auf dem Tische. Dem Gärtner ist das Thermometer der Schutzgeist seines Gewächshauses, dem er das Gedeihen seiner zarten Pflanzenkinder vertraut. Was sollte der Bierbrauer, der Zuckerfabrikant und mancher Andere ohne Thermometer anfangen, da eine für sein Gefühl unmeßbare Ab- oder Zunahme der Wärme die Stoffe unter seinen Händen zu vertauschen und den Lohn seiner Mühen in einem Augenblicke vernichten könnte? Wir vergessen aus Gewohnheit, daß man vor 250 Jahren noch keine Thermometer besaß, und daß es in seiner heutigen Gestalt kaum über 100 Jahre alt ist. Wir vergessen, daß die Ausdehnung der Körper durch die Wärme erst zu einer feststehenden Thatsache werden mußte, ehe man darin ein Mittel finden konnte, die Wärme zu messen. Wir vergessen, daß, was für uns Thatsache ist und dem Kinde bereits als solche mitgetheilt wird, erst durch Jahrhunderte lange Beobachtung mühsam erworben werden mußte.

Kornelius Drebbel, ein Holländer war es, so ward uns schon in der Schule berichtet, ein hochgeehrter Arzt und Naturforscher an den Höfen Englands und Deutschlands, der um das Jahr 1638 das Thermometer erfand. Es war eine einfache, oben zu einer Kugel erweiterte Glasröhre, deren eingeschlossene Luft durch Erwärmung verdünnt wurde, und die man dann mit ihrem unten offenen Ende in ein Gefäß mit gefärbtem

Wasser stellte. Beim Abkühlen des Instruments stieg natürlich das Wasser in Folge des Luftdrucks in der Röhre empor, und wenn nun die Sonnenstrahlen auf die obere Kugel fielen oder die warme Hand sie berührte, so drängte die sich durch die Wärme ausdehnende Luft das Wasser wieder abwärts. Es war also ein Instrument, das keineswegs der Wissenschaft zu ihren sorgfältigen Wärmemessungen dienen konnte, das nur in der Hand des Arztes blieb, um ihm Aenderungen in der Hitze des Kranken anzudeuten. Es maß ja die Wärme nicht allein, sondern was man freilich damals noch nicht wußte, zugleich den Druck der Atmosphäre auf das Wasser der offenen Röhre. Fast ein Jahrhundert währte es, ehe das Instrument eine wissenschaftliche Gestalt erhielt. Die berühmte Academie zu Florenz war es zunächst, welche sich mit Verbesserungen desselben beschäftigte. Sie ersetzte die Luft durch rothgefärbten Weingeist und verschloß die Röhre, die sie unten mit einer Kugel versah, nachdem sie durch Erhitzung alle Luft ausgetrieben hatte, und erreichte so zuerst das Ziel, die Einwirkungen des atmosphärischen Druckes von dem Wärmemesser fern zu halten. Noch aber war die erste Bedingung eines Maßes nicht erfüllt; es fehlte die feste, gleiche Theilung, es fehlten feste Punkte, welche solcher Theilung zur Grundlage dienen konnten. Diese ersten übereinstimmenden, nach einem festen Princip getheilten Thermometer lieferte erst im J. 1714 Fahrenheit, ein Mechaniker in Danzig. Er wählte die kälteste Temperatur des J. 1709 in Danzig, die er später durch künstliche Mischung von Schnee

und Salmiak wieder hervorzubringen wußte, als Nullpunkt und die Blutwärme (96°) als oberen festen Punkt seiner Scala. So ergaben sich für den Schmelzpunkt des Eises 32° und für den Siedepunkt des Wassers 212°. Diese beiden Punkte, die schon Newton empfohlen hatte, bildeten für alle späteren Thermometer, für die 80theiligen von Reaumur und de Luc, wie für das 100theilige von Celsius die Grenzpunkte der Scala. De Luc war der Erste, der das Quecksilber an die Stelle des Weingeistes setzte und so unsern gewöhnlichsten heutigen Thermometern ihre Gestalt gab.

Wir sind bereits so gewohnt, unser Thermometer als zuverlässiges und sicheres Maß für die Temperatur anzusehen, daß wir Zweifel an ihre Zuverlässigkeit gar nicht aufkommen lassen. Wir gehen davon aus, daß einer bestimmten Verlängerung der Quecksilbersäule auch eine bestimmte Wärmezunahme entspricht, daß von zwei Wärmequellen, deren eine das Quecksilber des Thermometers um 10°, die andere um 20° steigen macht, auch die letztere die doppelte Wärmemenge entwickele. Gegen einen solchen Schluß aus der Wirkung auf die wirkende Ursache läßt sich gewiß nichts einwenden. Was würden wir aber sagen, wenn Jemand, um die Tiefe seines Brunnens zu messen, rechnete: Ein Stein, den ich hinunter fallen ließ, ist 2 Secunden bis zum Grunde gefallen; ein Stein fällt aber in 1 Sec. 15 Fuß, folglich ist der Brunnen 30 Fuß tief. Wir müßten ihm entgegnen: Du irrst, die Fallräume sind nicht gleichförmige, die Schwerkraft beschleunigt den Fall der Körper in jeder

folgenden Secunde; sie durchlaufen in der zweiten Sec. nicht 2mal, sondern 4mal so große Räume als in der ersten; dein Brunnen ist also 60, nicht 30 Fuß tief! Wenn nun etwas Aehnliches bei der Ausdehnung durch die Wärme der Fall wäre, wenn nun die Quecksilbersäule des Thermometers durch eine zweite gleiche Wärmemenge nicht um den gleichen, sondern um den doppelten Raum oder auch nur um das Geringste mehr ausgedehnt würde, wenn also die Ausdehnungen, die Grade des Thermometers den ausdehnenden Ursachen, den Wärmezunahmen nicht völlig genau entsprächen; wie stände es dann um die Zuverlässigkeit unserer wichtigen Wärmemesser? Läßt sich denn aber so etwas befürchten? Das gewöhnliche Leben bietet uns keine Beobachtungen dar, welche uns darüber entscheiden ließen. Wenden wir uns daher an den Physiker! Dieser hat 5 gewöhnliche, vollkommen gleiche Thermometerröhren mit 5 verschiedenen Flüssigkeiten gefüllt, die eine mit Quecksilber, die zweite mit Olivenöl, die dritte mit gesättigter Salzsoole, die vierte mit absolutem Alkohol, die fünfte mit Wasser. Alle 5 Röhren sind genau in 80 Grade getheilt; bei allen ist gleichmäßig der Nullpunkt durch schmelzenden Schnee bestimmt, der Siedepunkt des Wassers mit 80° bezeichnet. In allen 5 Röhren müßten also wie bei 0° und 80° auch für alle zwischenliegenden Temperaturen die Flüssigkeiten den gleichen Stand, die gleichen Grade zeigen, wenn ihre Ausdehnung eine gleichmäßige, der Wärmezunahme entsprechende wäre. Sehen wir nun zu! Das Quecksilberthermometer zeigt

jetzt 70°, aber das Olivenöl nur 69°,4, die Salzsoole nur 68°,4, der Alkohol 67°,8 und das Wasser sogar nur 62°. Bei 60° des Quecksilberthermometers ist der Unterschied noch größer geworden. Das Olivenöl zeigt 59°,3, die Salzsoole 57°,1, der Alkohol 56°,2, das Wasser 45°,8. Bei 40° des Quecksilberthermometers zeigt das Olivenöl 39°,2, die Salzsoole 36°,3, der Alkohol 35,1, das Wasser 20°. Bei 20° des Quecksilbers ist das Olivenöl auf 19°,3, die Salzsoole auf 17°,3, der Alkohol auf 16,5, das Wasser auf 4°,1 gesunken. Die Flüssigkeiten zeigen also offenbar für jede Temperatur eine andre Ausdehnungsgröße, und das Wasser wird sich sogar von 40° — 80° R. gerade um einen dreifach so großen Raum ausdehnen, als von 0° — 40°.

Eine solche Beobachtung ist freilich geeignet, uns mißtrauisch gegen alle unsre Thermometer zu machen. Forschen wir indeß nach dem Grunde dieser Erscheinung, so finden wir, daß die Ausdehnung durch die Wärme erst da ungleichmäßig zu werden anfängt, wo sich die Flüssigkeit einem andern Aggregatzustande, ihrem Festwerden oder ihrer Verdampfung nähert. Bei den meisten Flüssigkeiten ist dies schon zwischen 0° und 100° C. also in dem Bereiche unsrer gewöhnlichsten Wärmemessungen der Fall. Nur bei dem Quecksilber zeigen diese Punkte einen bedeutenderen Abstand, sein Siedepunkt liegt bei 360°, sein Gefrierpunkt bei — 39° C. Bis zu 200° können wir also auf eine ziemlich gleichmäßige Ausdehnung des Quecksilbers rechnen, und das ist der

Grund, weshalb dem Quecksilber der Vorzug vor allen andern Flüssigkeiten bei der Füllung von Thermometern gebührt.

Trotzdem bleibt es immerhin kein unbilliges Verlangen, wenn wir uns nach einem Körper umsehen, der uns durch seine absolut gleichmäßige Ausdehnung unter allen Umständen eine Sicherheit für unsre Wärmemessungen gewährt. Wir sehen die Ungleichmäßigkeit der Ausdehnung in offenbarem Zusammenhange mit der Aenderung der Aggregatzustände stehen. Wenn wir nun auch von der Natur nichts Unmögliches verlangen, wenn wir ihr auch nicht absolute Ausnahmen von ihrer gesetzmäßigen Thätigkeit zumuthen wollen, so wissen wir doch, daß es Luftarten gibt, die wir wenigstens nur als solche kennen, die, soweit unsre Erfahrung reicht, noch niemals fest oder flüssig wurden, und die selbst die sinnreichsten und künstlichsten Maschinen unsrer Physiker und Chemiker nicht in die Tropfenform bannen konnten. Unsre gewöhnliche atmosphärische Luft ist ein solcher Körper, und wenn unsre Schlußfolgerungen richtig sind, so müssen wir in ihr, trotzdem wir es am Wenigsten vermutheten, das beste Material zur Füllung unsrer Thermometer besitzen.

Daß wir nicht die Ersten sind, die eine solche Vermuthung aufstellen, versteht sich wohl von selbst. Schon vor langer Zeit wurden von Gay-Lussac Versuche angestellt, um die Ausdehnung von Luftarten zu prüfen. Eine gewöhnliche, genau gemessene Thermometerröhre wurde mit der zu prüfenden, völlig trocknen Luftart ge-

füllt, und nur ein ganz kleiner Quecksilberfaden darin zurückgelassen, um das Steigen und Fallen der Luftsäule anzuzeigen. Durch Eintauchen in Schnee wurde der Nullpunkt, durch Eintauchen in siedendes Wasser der Siedepunkt bestimmt. Als Resultat ergab sich, daß alle Gase sich gleich ausdehnten, daß sie bei 100⁰ den gleichen Raum einnahmen, wenn sie es bei 0⁰ gethan hatten, daß sie bei allen Zwischentemperaturen, ganz entgegengesetzt den Flüssigkeiten, stets gleiche Grade anzeigten, also eine gleichförmige Ausdehnung besaßen. Durch neuere Versuche, namentlich von Magnus und Regnault, hat dieses Resultat freilich einige kleine Abänderungen erlitten. Es hat sich gezeigt, daß die Größe der Ausdehnung für die atmosphärische Luft etwas geringer ist, als früher angenommen wurde, daß sie ferner nicht für alle Gase genau gleich groß ist, und daß sie namentlich mit zunehmender Dichtigkeit der Luft etwas wächst.

Dessen ungeachtet ist das Luftthermometer das vorzüglichste und das eigentliche Normalthermometer; alle Angaben andrer Thermometer können nur in so weit als richtig gelten, als sie mit dem Luftthermometer übereinstimmen. Ueberdies besitzt es die größte Empfindlichkeit. Freilich sind seine Angaben von dem Barometerstande abhängig und bedürfen danach einer beständigen Correction. Darum ist es freilich für den gewöhnlichen Gebrauch zu unbequem. Aber es findet seine Anwendung stets da, wo es darauf ankommt, sehr geringe Veränderungen der Wärme anzugeben. Zu diesem Zwecke hat es eine besondere Form erhalten, in welcher

es dem Physiker als Differential = Thermometer bekannt ist.

Ein solches Instrument besteht gewöhnlich aus zwei gläsernen Hohlkugeln, die mit verdünnter Luft gefüllt und durch ein enges Thermometerrohr verbunden sind, das in seinem untern Theile eine schwer verdunstende Flüssigkeit, Schwefelsäure enthält. Ist die Temperatur der Luft in beiden Kugeln gleich, so steht natürlich auch die Flüssigkeit in beiden Schenkeln gleich hoch; bei dem geringsten Temperaturunterschiede tritt aber auch ein Steigen und Fallen dieser Flüssigkeit in den Schenkeln ein.

Wie also hier die große Empfindlichkeit der Luft gegen die ausdehnenden Wirkungen der Wärme sie für die feinsten Wärmemessungen empfiehlt, so macht die Gleichmäßigkeit ihrer Ausdehnung sie auch zur Messung sehr hoher Temperaturen geeignet. Hier darf nur an die Stelle der einen Glaskugel eine hohle Platinkugel treten, die durch ein Platinrohr mit dem hinreichend gegen die Einwirkungen der Wärme geschützten Glasapparate verbunden ist, und das Steigen und Fallen der Flüssigkeitssäule wird auch die hohen Temperaturgrade messen, denen die Platinkugel ausgesetzt wird.

Wir kehren indeß zu unserm Schmiede zurück, dessen Eisen uns erst auf die Ausdehnung des Quecksilbers und der Luft aufmerksam machte. Die Ausdehnung durch die Wärme ist jedenfalls eine allgemeine Erscheinung, und wir zweifeln keinen Augenblick mehr daran, daß, wie das Eisen, so alle Metalle, so alle festen Körper

überhaupt dieser eigenthümlichen Wirkung unterworfen sein. Wir könnten höchstens darüber ungewiß sein, ob diese Ausdehnung fester Körper eine gleichmäßige und für alle Stoffe übereinstimmende, wie bei den Luftarten, oder eine nach der Natur des Stoffes verschiedene und mit der Temperatur bald schneller bald langsamer wachsende sei. Selbst wenn wir aber nicht Thatsachen hätten, wenn wir nicht durch das Lockerwerden von Haken in den Mauern, von Ringen um hölzernen Axen überzeugt würden, daß der Stein und das Holz durch die Wärme geringer ausgedehnt werden, als das Metall, so würde uns doch eine Abhängigkeit der Ausdehnung von der Natur der Stoffe, von dem innern Zusammenhange ihrer Theile um so natürlicher bei den festen Körpern erscheinen, als uns etwas Aehnliches sogar bei den Luftarten, wo von einem Zusammenhange der Theile kaum die Rede sein kann, gelehrt wurde. Die Wissenschaft kann uns freilich Zahlen dafür bieten, gegen die es keinen Einwand mehr gibt. Eine 10 Fuß lange Stange von Schmiedeeisen dehnt sich, auf 100° C. erhitzt, um $1\frac{3}{4}$ Linien aus, eine gleichlange Stange von Gußeisen um $1\frac{1}{3}$ L., eine Stange von Stahl um 2 L., von Kupfer um $2\frac{1}{2}$ L., von Messing um 3 L., von Zink um $4\frac{1}{2}$ L, von Glas nur um $1\frac{1}{5}$ L. Daß diese Ausdehnung auch nicht eine völlig gleichmäßige sein kann, dafür spricht die Erfahrung, die wir bei den Flüssigkeiten machten, wo wir die Unregelmäßigkeiten mit den Veränderungen des Aggretzustandes, mit dem Erstarren und Verdampfen zusammenhängen sahen. Auch die festen Körper

sind ja solchen Veränderungen unterworfen, und wenn ihr Schmelzpunkt auch ziemlich hoch liegt, so kann das nur eine größere Gleichmäßigkeit der Ausdehnung bei niederen Temperaturgraden zur Folge haben. In der That kann uns die Wissenschaft wieder durch Zahlen beweisen, wie bedeutend diese Ausdehnung bei höheren Hitzegraden zunimmt. Die 10 Fuß lange Stange von Schmiedeeisen, die sich bei 100° Wärme nur um 1¾ L. verlängert hatte, dehnt sich bei 350° C. um 6½ L., in der Nähe des Schmelzpunkts um 26½ Lin. aus, die Gußeisenstange bei 350° C. um 5⅔ L., in der Nähe des Schmelzpunkts um 23½ L., das Kupfer bei 350° um 9 L., dem Schmelzpunkt nahe um 35 L., das Zink bei 350° um 12¼ L., beim Schmelzpunkt um 18⅕ L.

Wir haben schon so manchen wechselvollen Zustand in der Natur kennen gelernt, daß wir es fast aufgegeben haben, irgend etwas Beständiges in ihr, als etwa ihre Grundgedanken, ihre Gesetze und Zahlen, zu finden. Wir haben gesehen, daß jede Bewegung auf der Erde durch die Axendrehung der Erde Störungen erlitt, daß kein Wurf genau sein Ziel zu erreichen vermag, daß selbst das Gewicht der Körper wechselt mit der Entfernung vom Aequator, mit dem Abstande vom Mittelpunkt der Erde, daß kein Ton, kein Lichtstrahl streng genommen in der Richtung unsre Sinne trifft, in der er ursprünglich erregt wurde. Wenn wir noch wägen und messen, wenn wir uns noch ein Urtheil über Richtungen erlauben, so geschieht es nur noch annähernd, und nur der Forscher vermag sich die Sicherheit seines Urtheils zu

wahren, indem er die einzelnen Umstände, unter denen er es fällt, mit derselben Genauigkeit verzeichnet. Noch hielten wir die räumlichen Verhältnisse der Dinge für unwandelbar, ihre Ausdehnung wenigstens meinten wir sicher messen zu können. Jetzt ist uns auch dieser Glaube geraubt, jetzt sehen wir auch die Ausdehnung der Körper wechseln mit der Wärme, sehen sie so unbeständig, wie alles in der Natur. Wir können einem Körper nur eine bestimmte Größe zugestehen für eine bestimmte Temperatur, und der Stempel der Behörden selbst schützt das Maaß nicht, in der nächsten Secunde ein andres zu sein. So zwingt uns die wissenschaftliche Erfahrung zu Vorsichtsmaßregeln selbst für unsre einfachsten bürgerlichen Verhältnisse. Welche Verwirrung könnte daraus entstehen, wenn wir mit dem eisernen Maßstabe, mag er auch geaicht sein, im Sommer und Winter bei Temperaturunterschieden von vielleicht 40° R. Messungen vornähmen, die auf Längen von 100 Fuß Unterschiede von 7 Linien ergeben können. Ein Maßstab hat seine richtige Länge nur bei einer einzigen Temperatur, und jede Messung muß auf diese eine Temperatur zurückgeführt werden, wenn man nicht statt eines Maßes verschiedene anwenden will. Für die Normalmaße ist in den verschiedenen Ländern eine solche Temperatur als Einheit festgestellt, für den rheinländischen Fuß und die toise du Pérou in Frankreich, beide von Eisen, die Temperatur von +13° R., für den englischen Yard von Messing +62° F., für das Meter von Platina in Frankreich 0° C.

Aber auch unsre Zeitmessung erleidet durch diese Wärmeeinflüsse Störungen und zwar noch weit beträchtlichere als unsre Längenmessung. Zum genauen Gange einer Pendeluhr ist die unveränderliche Länge des Pendels ein unumgängliches Erforderniß; denn von der Länge des Pendels hängt die Schnelligkeit der Schwingungen ab. Nun wissen wir aber, daß kein Körper unter dem Einflusse der Wärme seine Länge auch nur einen Augenblick zu behaupten vermag. Es würde also ein beständiges Schwanken, ein beständiges Schneller- oder Langsamergehen der Uhren die Folge sein. Durch Anwendung eines Compensationspendels, das aus zwei verschiedenen Substanzen so zusammengesetzt ist, daß die von der einen bewirkte Verlängerung des Pendels stets von der andern wieder aufgehoben wird, läßt sich diese Störung wenigstens annähernd vermeiden. Unsre gewöhnlichen Pendeluhren aber bleiben schlechte Zeitmesser, gehen im Sommer nach, im Winter vor. Derselbe Vorwurf trifft unsre Taschenuhren. Hier wird durch die Spiralfeder ein kleines Schwungrad, die Unruhe, in Bewegung gesetzt, welches den Gang der Uhr regulirt. Die Schnelligkeit der Schwingungen desselben hängt von der Kraft der Spiralfeder, von der Last und dem Trägheitsmomente der Unruhe ab. Durch die Wirkung der Wärme wird nun sowohl die Spiralfeder verlängert, so daß ihre Schwingungen langsamer erfolgen, als auch das Trägheitsmoment der Unruhe vermehrt, indem ihre Masse mehr von dem Drehpunkte entfernt wird; die Uhr geht also langsamer. Bei genauen Uhren, bei Chronometern

namentlich, von deren Genauigkeit das Leben oft vieler Hunderte von Seefahrern abhängt, setzt man deshalb die Unruhe aus sogenannten Compensationsstreifen von Messing und Stahl zusammen. Diese Streifen sind aneinander gelöthet, und die steigende Wärme bewirkt daher eine Krümmung derselben, so daß kleine Metallstückchen, die an ihrer innern Seite befestigt sind, der Axe genähert werden und dadurch das Trägheitsmoment der Unruhe vermindern. In ähnlicher Weise hat man Metallthermometer construirt, welche die äußere Form einer Taschenuhr haben, und in denen ein Zeiger durch die Krümmung eines Compensationsstreifens in Bewegung gesetzt wird.

Das alles aber, diese Ausdehnungserscheinungen der Wärme, diese störenden und nützlichen Einflüsse waren es nicht, weshalb wir in der Schmiede den Gedanken faßten, die Wärmeerscheinungen zum Gegenstande unsrer Forschung zu machen. Die Erscheinungen sollten uns nur ein Mittel sein, das Wesen dieser Wärme zu erkunden. Scheinbar haben wir uns von diesem Ziele entfernt, haben uns durch unsre Beobachtuugen auf Abwege verlocken lassen, haben gemessen, wo wir prüfen und vergleichen sollten. Dennoch war unser Thun kein vergebliches. Wir haben eine Wirkung der Wärme in ihrer vollen Allgemeinheit erkannt, und welches war diese Wirkung? Eine Ausdehnung war es, eine im Innern der Körper vorgehende Bewegung also, eine Theilchenbewegung, an der wir das harte Eisen so gut, wie den Wassertropfen und die bewegliche Luft theilnehmen sahen,

eine Bewegung endlich, die wir mit solcher Sicherheit an das Wesen der Wärme sich knüpfen sahen, daß wir sie zu ihrem Maße machen konnten. Wir haben also sogar eine wichtige Grundlage für unsre fernere Betrachtung gewonnen, wir haben als eine wesentliche Seite der Wärmeerscheinungen eine Bewegung erkannt, und es kommt nur darauf an, ob diese Bewegung ein Ueberströmen von Stoffen oder eine bloße fortschreitende Mittheilung eines anfänglichen Stoßes ist. Eine Bewegung der ersten Art würde eine Gewichtserhöhung der erhitzten Körper bedingen, die doch endlich einmal der immer mehr verfeinerten Wage bemerklich werden müßte. Eine Bewegung der zweiten Art würde der Wellenbewegung des Wassers, des Schalles, des Lichts gleichen; aber dafür müßten wir doch erst sichere Beweise aus ihren Erscheinungsformen gewinnen.

Auf dem Heerde unsres Schmiedes glüht ein heftiges Kohlenfeuer, angefacht durch den steten Luftstrom des Blasebalgs. In diese Kohlengluth hat der Schmied seine Eisenstangen gelegt, um sie zu erhitzen, und da liegen sie nun rings umher neben einander, die einen schon rothglühend, die andern noch schwarz. So saßen einst unsre deutschen Vorfahren um den häuslichen Heerd versammelt, und der Geist der Häuslichkeit erwärmte die Gemüther, die Gluth der Phantasie strahlte aus den Augen des einen, während das sanfte Feuer der Liebe um die Lippen des andern spielte. Und wenn dann die Gluth des Kamins erlosch, und in heimlicher Dämmerung die Glieder der Familie näher zusammenrückten,

dann erwärmte einer sein Herz am Herzen des Andern, und die Familie selbst ward das freundlich belebende Feuer. Das Feuer des Heerdes hat seine alte Kraft nicht verloren, aber nur Töpfe und kalte Eisenstangen sind es heute, denen sie sich mittheilen kann.

Die Eisenstangen des Schmiedes haben von der Kohlengluth ihre Wärme empfangen, sie sind durchglüht, und der Schmied faßt sie mit der Zange, während er die halb glühenden Kohlen mit der Hand zurecht legt. Das Eisen hat die Wärme aufgenommen, und schneller hat sie sich durch seine ganze Masse verbreitet, als durch die Kohle, schneller als durch das brennende Holzscheit, das der Schmied jetzt als Leuchte in der Hand schwingt. Die Wärme theilt sich also von dem einen Körper dem andern durch Berührung mit, aber dem einen leichter als dem andern, den einen schneller durcheilend als den andern. Es gibt mit andern Worten gute und schlechte Wärmeleiter. Die Metalle, namentlich Silber und Kupfer gehören zu den besten, Holz, Stroh, Papier, Asche und Schnee zu den schlechtsten Wärmeleitern. Wir könnten auch sagen, es gebe unter den Menschen gute und schlechte Wärmeleiter; denn wohl gibt es Menschen, die von den heiligsten Feuern der Menschheit, der Begeisterung, der Liebe, des Patriotismus nicht durchwärmt werden, denen die glühendste Leidenschaft nicht über das Herz hinausgeht, und andre, die von der flüchtigsten Berührung in helle Flammen ausbrechen.

Daß die Körper Wärme leiten, brauchte der Naturforscher wahrlich nicht erst zu entdecken. Darin besteht

auch nicht seine Kunst, allverbreitete Erscheinungen der Natur aufzusuchen, sondern sie durch seine Forschung, seine Anschauung umzuwandeln, zu vergeistigen. Was der Naturforscher Wärmeleitung nennt, das benutzte die Hausfrau längst an ihrem Heerde, wenn sie ihre Suppe kochte. Aber da sehen wir gleich, wie anders das Auge des Naturforschers als das der Hausfrau dieselben Dinge anblickt. Die Hausfrau würde, wenn sie das Wasser in ihrem Topfe so schnell sich durch seine ganze Masse gleichmäßig erwärmen sieht, meinen, das Wasser müsse ein besonders guter Wärmeleiter sein. Der Forscher meint etwas ganz Andres. Er trennt von der unmittelbaren Verbreitung der Wärme in der Flüssigkeit eine andre Bewegungserscheinung der Wärme, die Folgen ihrer ausdehnenden, verdünnenden und leichtermachenden Kraft. Er sieht die an den Wänden des Topfes erwärmten Wassertheilchen sich ausdehnen und leichter geworden in die Höhe steigen, während die kalten, also dichteren oberen Theilchen niedersinken. Er sieht in dieser beständig auf- und niedergehenden Bewegung der Theilchen die Ursache der schnellen und gleichmäßigen Erwärmung der Flüssigkeiten. Er weiß sogar, daß wenn das Kochgefäß eine enge Ausgußröhre hätte, in dieser das Wasser noch lange kalt bleiben würde, während es im Topfe schon kochte; er weiß, daß wenn er von oben her das Wasser erhitzen wollte, etwa durch brennenden Schwefeläther, den er darauf gegossen, kaum die geringste Erhöhung seiner Temperatur erfolgen würde, weil die Circulation der Theilchen nicht möglich wäre. Dem Forscher

gelten also die Flüssigkeiten als schlechte Wärmeleiter.

Aber der Forscher begnügt sich noch nicht mit der Erforschung dieser einen Thatsache. Die ununterbrochene Bewegung der Theilchen, welche von der erwärmten Gefäßwand ausgeht, ist nicht die einzige Bedingung einer vollkommenen Durchwärmung einer Flüssigkeit. Ihre unmittelbare Berührung mit der erhitzten Gefäßwand ist eine andre. Gewiß hat der Leser es schon oft bemerkt, daß, wenn er eine blanke Metallfläche bis zum Glühen erhitzte und dann Wassertroffen auf dieselbe warf, diese Tropfen kugelförmig blieben, die Metallfläche nicht benetzten, langsamer verdampften, als wenn das Metall weniger heiß gewesen wäre, und endlich in einer fortwährenden drehenden Bewegung begriffen waren. In einem glühenden Metalltiegel lassen sich selbst größere Wassermengen in einen solchen Tropfenzustand bringen, und, was das Seltsamste ist, wenn der Physiker sein Thermometer in diesen Tropfen taucht, zeigt es eine Temperatur an, die noch mehrere Grade unter dem Siedepunkte des Wassers ist. Das ist der berühmte Leidenfrost'sche Versuch, der, im Jahre 1756 zuerst angestellt, seitdem mit den verschiedensten Flüssigkeiten, mit Alkohol, Schwefeläther, schwefliger Säure wiederholt, immer zu demselben Resultat geführt hat. Er beruht hauptsächlich darauf, daß die Flüssigkeit im Tropfenzustande die erhitzte Fläche nicht berührt, und lehrt also, daß Flüssigkeiten nur in unmittelbarer Berührung mit der Wärmequelle die Wärme leicht durch Mittheilung empfangen. Neuere Versuche

haben gezeigt, daß auch eine dünne Feuchtigkeitsschicht auf der Hand in Berührung mit glühenden Metallen in einen solchen tropfenförmigen Zustand gerathe, so daß man also mit der feuchten Hand oder besser mit der durch eine Salmiaklösung oder einer Mischung von schwefliger Säure und Salmiaklösung befeuchteten Hand, ohne sich zu verbrennen, so gut wie unsre feuerfressenden Taschenspieler, schmelzendes Blei, schmelzende Bronze u. s. w. berühren kann.

Noch mehr als beim Wasser sind wir bei der Luft in Betreff ihrer Leitungsfähigkeit für die Wärme im gewöhnlichen Leben zu Täuschungen geneigt. Wir empfinden es ja, wie der warme Strahl der Frühlingssonne die kalte Luft unsres Zimmers so behaglich durchwärmt, wir wissen ja, wie im Winter die Hitze des Ofens sich so schnell der ganzen Stubenluft mittheilt, und wir haben es ja im Sommer erfahren, wenn wir zum Bade in den kühlen Strom tauchten, daß die Sonnenstrahlen die Luft schneller und besser durchwärmten, als das Wasser, und daß das Wasser ganz in Uebereinstimmung damit bei kühlem Wetter seine Wärme länger behauptete als die Luft, weil es sie schlechter und langsamer fortleitete, grade wie ein irdner Topf seine Wärme länger erhält als ein eiserner. Was wäre natürlicher, als der Luft eine vorzüglichere Leitungsfähigkeit für die Wärme zuzuschreiben als dem Wasser. Aber wir vergessen wieder die Strömungen, die hierbei mitwirken, und wir könnten diese freilich selbst beobachten. Wenn der Frühlingssonnenstrahl durch unsre Fenster bricht, sehen wir oft eine

glänzende Säule wirbelnder Sonnenstäubchen aufsteigen; sie werden nur von den aufsteigenden erwärmten Lufttheilchen getragen. Wenn wir die Thür eines geheizten Zimmers öffnen, so strömt ein empfindlicher kalter Luftstrom am Fußboden ein, während oben ein warmer Luftstrom hinausgeht. In den Cylindern unsrer Lampen, in unsern Schornsteinen entsteht nur durch das beständige Aufsteigen der erwärmten Lufttheilchen und durch das Nachströmen der kalten der wichtige Luftzug, der das Fortbrennen unsrer Flammen und Feuer allein möglich macht. Grade wie beim Wasser findet also auch in der Luft ein beständiger Kreislauf der Wärme statt; die erwärmten, ausgedehnten und darum leichter gewordenen Lufttheilchen steigen auf, die kalten schwereren sinken nieder, und nur dadurch wird die allmälige Ausgleichung der Wärme, die allmälige Durchwärmung der Luft bewirkt. In großartiger Weise treibt es die Natur in der Atmosphäre, die unsre Erde umgibt, selbst. Ueber den erhitzten Gegenden der Erdoberfläche steigen warme Luftströme auf, kältere Luftschichten ziehen längs des Bodens an ihre Stelle, und in diesem Kreislauf auf- und niedersteigender Luftströmungen ruht das Geheimniß der Winde.

Die Bewegung der Luft, und was damit zusammenhängt, unser Wetter, sogar die Mannigfaltigkeit unsrer Klimate und der Wechsel unsrer Jahreszeiten, ist also eine Folge der ungleichmäßigen Erwärmung der Luft, und diese Ungleichheit der Erwärmung ist wieder eine Folge der geringen Wärmeleitungsfähigkeit der Luft.

Vermöchte sich die Wärme durch die Luft so leicht und schnell zu verbreiten, wie etwa durch Metalle, so würde in Kurzem eine völlige Ausgleichung durch die ganze Atmosphäre unserer Erde eintreten, und die glückliche Tropenzone kaum noch einen Vorzug behalten vor den nächtlichen Polargegenden. Käme aber wieder nicht dies Ausdehnungsbestreben der erwärmten Luft ihrer geringen Leitungsfähigkeit zu Hülfe, brächten Störungen nicht die warmen Luftschichten auch an die für die Sonnenstrahlen unerreichbaren Orte, so würden wir selbst unter dem Aequator den Gegensätzen des Polar- und Tropenklimas begegnen, und ewiges Eis würde in demselben dunklen Thale starren, in dem jetzt Palmen und Baumfarrn üppig wuchern. Denn in der That gehört die unbewegte Luft zu den schlechtesten Wärmeleitern der Erde. Wir empfinden es schon an den Unterschieden windstiller und stürmischer Wintertage; an jenen wird uns die strengste Kälte fast behaglich, an diesen werden geringe Kältegrade uns fast unerträglich, weil jedes vorüberziehende Lufttheilchen einen Theil unsrer eignen Körperwärme mit sich fortnimmt.

Wenn nach nächtlicher Kühle die aufgehende Sonne ihre wärmenden Strahlen über das Festland ausgießt, dann erhebt sich nach wenigen Stunden von der kühleren See her eine schwache Luftströmung dem Lande entgegen. Mit dem Steigen der Sonne wächst dieser Seewind, und gegen 2 Uhr Nachmittags erreicht er seine höchste Stärke. Das Land wird durch die Sonnenstrahlen erwärmt, schneller als die See, und die Luft steigt über ihm empor,

während unten die kältere Seeluft als Seewind in die wärmere Luftschicht eindringt. Aber immer schwächer und schwächer weht der Seewind, je mehr die Sonne sich zum Untergange neigt; Windstille tritt ein, denn über Land und Meer haben die Luftschichten ihre Wärme ausgeglichen. Nun beginnt die nächtliche Abkühlung des Landes, und wie es schneller die Wärme aufnahm, verliert es sie auch schneller als das Meer; eine Luftströmung zieht um Mitternacht vom Lande zur See, ein Landwind weht, der mit dem Vorrücken der Nacht wächst und sich erst nach Sonnenuntergang legt. Grade so erhebt sich dort aus dem engen feuchten Thale frühmorgens ein kühler Luftzug, kaum bemerkbar unserm Gefühl, aber doch ein Zeuge des ewigen Kreislaufes, den die Wärme in unserm Luftmeer erregt und erhält. Gradeso strömt aber auch jahraus jahrein über die ganze Erde hin vom Aequator zu den Polen ein ewiger Luftstrom. Dort unter jenem heißen Gürtel der Erde liegt die Geburtsstätte für Wind und Wetter. Dort in der Region der Windstillen durchglühen die senkrechten Strahlen der Sonne die Atmosphäre, daß sie beständig aufsteigt, von gewaltigen Mengen von Wasserdämpfen begleitet, und nur ein furchtbarer Gewittersturm auf Augenblicke ihr stetes Gleichgewicht zu vernichten vermag. Von Nord und Süd, von den Polen her dringen nun kältere Luftströme am Erdboden hin in die stets verdünnten Luftströme des Aequators ein. Die Umdrehung der Erde lenkt diese Luftströmungen nach Westen ab, und so erscheinen sie als Nordostwind in der nördlichen, als Südwestwind in der südli-

chen heißen Zone, so wehen sie als regelmäßige Passate auf den großen Meeren und in den weiten Ebenen Südamerikas. Bisweilen senken sich die warmen Luftströmungen, welche vom Aequator aufsteigen und den Polen zuströmen, allmälig abgekühlt zur Erdoberfläche nieder und machen sich auf unsrer nördlichen Erdhälfte als Südwestwinde neben den Nordostwinden geltend. In diesem Kampfe der obern und untern Passate aber, dessen Schauplatz namentlich unsre gemäßigten Zonen sind, wird Wind und Wetter für uns gebraut, und die Drehung unsrer Windfahne berichtet uns das Nahen oder den Sieg einer in weiter Ferne erregten Welle des Luftmeers.

Die geringe Leitungsfähigkeit der ruhigen Luft ist es ganz besonders, durch welche wir unsern Körper und unsre Zimmer gegen große Wärmeverluste in der Winterkälte zu schützen suchen. Die Kleider und Betten, mit denen wir uns umgeben, sind allerdings ohnehin schon aus schlecht leitenden Stoffen bereitet, grade wie die Natur den thierischen Leib in Wolle, Pelz und Federn zum Schutz gegen die räuberischen Eingriffe der Atmosphäre hüllt. Aber wir wissen doch recht wohl, daß weite Mäntel besser schützen, als enganschließende Kleider, und der Luxus versieht unsre Wohnungen mit Doppelfenstern und Doppelthüren, weil die Erfahrung gelehrt hat, daß die abgesperrte, ruhige Luftschicht das Entweichen der Wärme hindert. Auch beim Bedecken unsrer Bäume, Brunnen, Kelleröffnungen mit Stroh wirkt die in den Zwischenräumen eingeschlossene Luft wesentlich mit

zum Schutze gegen den Frost, und der Schutz, den der lockere Schnee den Saaten gewährt, beruht jedenfalls nur zur Hälfte auf der geringen Leitungsfähigkeit des erstarrten Wassers.

Wenn wir so die Wärme von Körper zu Körper überströmen sehen, bald mit größerer, bald mit geringerer Geschwindigkeit, bald gehemmt, bald beschleunigt, so werden wir mehr und mehr zu der Ueberzeugung gedrängt, daß die Bewegung Theil hat an dem eigentlichen Wesen der Wärme selbst. Es ist nicht mehr eine Wirkung der Wärme, die wir vor uns sehen, wie es noch die sich uns als Ausdehnung verkündende innere Theilchenbewegung der Körper war; es ist hier etwas Unsichtbares, Unfaßbares, das als Wärme selbst in Bewegung geräth und von der Kohlengluth in die Eisenstangen des Schmiedes strömt. Freilich tritt diese Bewegung nur bei unmittelbarer Berührung ein; die wenige Zolle von der Gluth entfernte Zange bleibt kalt und schwarz. Wir könnten also noch an das Ueberströmen eines unbekannten Wärmestoffs denken, wie man ihn noch vor einem Jahrhundert annahm. Aber wir werden freilich durch eine Erfahrung vor einer solchen übereilten Annahme gewarnt. Wir sind bereits einer ähnlichen Erscheinung begegnet. Auch die Töne strömten über aus dem fallenden Hammer, aus der schwingenden Saite in Drähte, in Balken, in Wasser, und man überrascht ja gegenwärtig das amerikanische Publikum mit einem unsichtbaren Konzerte, das von freistehenden Instrumenten erklingt, denen die einzelnen Klänge durch eine verborgene Drathleitung

von einem in einem untern Zimmer gespielten Klavier zuströmen. Und doch konnten wir bei diesen Klängen nicht an ein Strömen von Stoffen denken; drang doch der Schall der Glocke auch weit her über Berg und Thal in unser Ohr!

Länger, als wir beabsichtigt, waren wir durch die Betrachtungen, welche die Morgenarbeit des Meisters in uns angeregt hatte, vor der Schmiede festgehalten worden. Nach freundlichem Gruße eilen wir nun weiter in die frische Frühlingsluft, Herz und Sinne zu laben. Wir bemerken jetzt erst die Kühle des Morgens; denn dort in der Thür der Schmiede hatte uns ein warmer Luftstrom vom Heerde entgegengestrahlt. Aber die Sonne steigt höher, und bald fühlen wir uns von ihren Gluthen belästigt. Wir suchen den Schatten eines Wäldchens auf, das trotz seiner noch durchsichtigen Belaubung doch einigen Schutz gegen die Sonnenstrahlen verspricht.

Hier in diesem grünen Schatten könnte man träumen und dichten. Ist es doch, als ob diese wonnige Frühlingsluft uns selbst dazu einlüde, als ob sie mit ihren duftigen Schwingen unsre Sinne und unsern Geist in süßen Schlummer wiegen wollte! Aber wer zur Natur in die grüne Schule geht, der darf nicht träumen; denn er muß lauschen den köstlichen Dichtungen der Meisterin selbst, der größten Dichterin im weiten Weltall. Auf jedem Sonnenstrahl, aus jedem Thautropfen sendet sie das lieblichste Gedicht in unsre Seele; wir müssen es nur zu lesen wissen, um es zu empfinden.

Hier die erquickende Kühle, dicht vor uns die bren-

nende Sonnengluth! Was hindert die Wärme in diesen Raum zu dringen, etwa das zarte durchsichtige Laub? Oder ist es etwas andres mit der Wärme der Sonnenstrahlen, etwas, was sich nicht durch Mittheilung geben läßt, etwas Aehnliches vielleicht, wie mit ihrem Lichte, das auch von dem Laube des Baumes aufgehalten wird? Als vorhin eine Wolke die Sonne für einige Minuten verdunkelte, empfanden wir auch eine Kühle, und als der Schmied sich seiner Kohlengluth näherte, schützte er mit der vorgehaltenen Hand sein Gesicht gegen die Hitze. Die Luft hier draußen ist also ebenso wenig von der Sonnenwärme, als die Luft der Schmiede von dem Kohlenfeuer so völlig durchdrungen, als es uns in der unmittelbaren Einwirkung der Wärmequelle scheint. Das Thermometer würde uns im freien Sonnenschein vielleicht einige 20 Grade zeigen, während es hier im Schatten kaum auf 15° stiege, und in der Schmiede würde der Unterschied noch viel bedeutender sein. Es muß also unmittelbar von der Wärmequelle her eine Bewegung stattfinden, die auf ihrem graden Wege von den Körpern, von der Hand, von der Wolke, von dem Laube des Baumes aufgehalten werden kann, und diese Bewegung muß eine weit schnellere, als die der gewöhnlichen Mittheilung durch die Berührung, muß sogar eine fast augenblickliche sein, da sie in wenigen Minuten von der aufgehenden Sonne den so viele Millionen Meilen weiten Raum zur Erde durchläuft.

Eine solche Wirkung in die Ferne, die eine Mittheilung durch stoffliche Theilchen, ein Ausströmen völlig

undenkbar macht, läßt sich in keiner andern Weise unsrer Fassungskraft nahe bringen, als durch jene Bewegung, die wir die Welle des fallenden Steins zum Ufer, den Klang der schwingenden Glocke zu unserm Ohr, das Licht der Sonne endlich durch die Räume des Weltalls in kurzen Augenblicken tragen sahen. Der Flug der Wärme von der Sonne zur Erde läßt sich nicht anders erklären als durch Schwingungen, die sich von Theilchen zu Theilchen fortpflanzen, gleich denen der Wasserwelle, des Schalles, des Lichts. Die Sonne sendet nicht bloß Lichtstrahlen, sondern auch Wärmestrahlen aus, und diese folgen denselben Gesetzen wie jene, sind nur in ihrer Wirkung von jenen verschieden. Das ist die erhabene Einfachheit der Natur. Auf den wilden Wellen des Meeres zittert der Seemann, auf sanfteren Wellen rauscht der Zauber der Töne in unser Ohr, und auf Wellen endlich senken die köstlichsten Liebesgaben der Natur, Licht und Wärme zur Erde sich nieder!

Läge es nicht gar zu nahe, und wäre unser Mißtrauen gegen unsre alltäglichen Anschauungen, gegen unsre unwissenschaftlichen Bezeichnungen, zu denen auch die der Sonnenstrahlen als Wärmequellen gehört, nicht gar zu groß, so hätte uns von vorn herein die Wärmestrahlung als Thatsache gelten müssen. Hätten wir daran gedacht, mit welcher Schnelligkeit sich die Wärme der Sonne durch die weitesten Räume verbreitet, und uns vom Physiker erzählen lassen, daß selbst im leeren Raume der erhitzte Körper seine Wärme verliert, trotzdem er sie doch an keine Umgebung mittheilen kann, so würden

wir im Hinblick auf unsre Erfahrungen im Reiche des Lichts vielleicht keinen Augenblick an der Existenz einer ähnlichen schwingenden Wellenbewegung im Gebiete der Wärme gezweifelt haben. Die Aehnlichkeit zwischen den Erscheinungen des Lichts und der Wärme ist in der That außerordentlich groß. Schon für den Laien verknüpfen sich beide so innig, daß er sie kaum zu scheiden vermag. Seit aber neuere Naturforscher, wie Leslie, Melloni, Knoblauch u. A., die ganze Feinheit und den Scharfsinn der Wissenschaft auf die Beobachtung der Wärmeerscheinungen verwendet haben, ist diese Uebereinstimmung mit dem Lichte zu einer so unzweifelhaften Gewißheit auch für die Wissenschaft erhoben worden, daß nur ein Philosoph aus Liebe zu seinem Systeme oder noch mehr aus Liebe zu geistreichen Wortspielen daran zu zweifeln vermag.

Die Wärme wird wie das Licht zurückgeworfen, gebrochen, gebeugt. Die Wärmewellen strömen wie die Lichtwellen von Körper zu Körper, werden von den Körpern gehemmt oder durchgelassen, und ihre Schwingungen werden bald mächtigere, bald leisere, wie die Wellen des Sees sich bald zu Bergen aufthürmen, bald wieder ebenen und glätten.

Schon vor zwei Jahrtausenden benutzte man die Zurückwerfung der Wärmestrahlen, vielleicht ohne daß man ihr Wesen erkannte. Man besaß bereits Brennspiegel, man wußte also, daß parallele Wärmestrahlen, welche in der Richtung der Axe auf einen Hohlspiegel fallen, sich in einem einzigen Punkte vereinigen, der eben von der hohen Temperatur, welche durch die Ver-

einigung der Sonnenstrahlen hier erreicht werden kann, den Namen Brennpunkt erhielt. Schon von Archimedes erzählt ja die Geschichte, freilich eine etwas mährchenhafte, daß er mit metallnen Brennspiegeln die Schiffe der Syrakus belagernden Römer angezündet habe. Auch Plutarch berichtet von den Vestalinnen Roms, daß sie das heilige Feuer in ihrem Tempel durch hohle metallne Schalen, die sie der Sonne entgegenhielten, entzündet hätten, da sie es, wenn es erloschen war, nur an dem reinsten Feuer, d. h. der Sonne, entzünden durften. Nun, heut zu Tage verbrennt man ja Diamanten im Brennpunkt solcher Spiegel. Dasselbe Gesetz gilt also für die Reflexion der Wärme wie des Lichts; auch für die Wärme gibt es Spiegel, und der auffallende Strahl wird auch hier unter demselben Winkel zurückgeworfen, unter dem er auftraf.

Alle Körper strahlen unablässig auch bei der niedrigsten Temperatur Wärme aus, die von andern Körpern zurückgestrahlt oder aufgenommen und verschluckt wird. Selbst ein Stück Eis im Brennpunkt eines Brennspiegels bringt ein Thermometer im Brennpunkt eines andern gegenüberstehenden Spiegels zum Sinken, nicht etwa weil ein besonderer Kältestoff hier thätig wäre, wie man eine Zeitlang meinte, sondern weil das Thermometer eine größere Wärmemenge ausstrahlt, als es vom Eise empfängt, weil also das Thermometer Wärme verliert, und das Eis Wärme gewinnt, wie es das allmälige Schmelzen des Eises beweist. Wir pflegen uns nur um die Wärme zu kümmern, welche unser Ofen, auch

nachdem längst das Feuer in ihm erloschen ist, in die Stube ausstrahlt, aber wir achten nicht darauf, daß an dieser Ausstrahlung auch alle Gegenstände im Zimmer theilnehmen, bis eine völlige Ausgleichung ihrer Temperatur eingetreten ist. Wir hätten uns längst über diese Vorgänge in der Natur im Großen überzeugen können, wenn wir unsern Empfindungen und Wahrnehmungen nur die rechten Worte geliehen hätten. Wir bedürfen keines Thermometers im Brennpunkt eines Hohlspiegels, um uns durch sein Sinken zu überzeugen, daß die Erde zur Nachtzeit mehr Wärme gegen den heitern Himmel ausstrahlt, als die strahlende Wärme der Atmosphäre ersetzen kann. Unser Gefühl belehrt uns ja schon, daß heitere Nächte kälter sind als trübe, in welchen die Wolken des Himmels die ausgestrahlte Wärme der Erde zurücksenden. Heute Morgen noch hätten wir sichtliche Beweise dieser Wärmestrahlungen auf den Fluren finden können. Eine heitere, windstille Nacht war vorangegangen. Die Wärmestrahlung des Bodens hatte die Luft abgekühlt, und durch die Abkühlung hatte sich der Wasserdunst der Luft als Thau niedergeschlagen. Diesen Thau sahen wir heute zu Reif gefroren die Wege und Felder bedecken. Aber wir hätten noch mehr sehen können. Nicht überall fanden wir diesen Reif. Unter Dächern und Schuppen und Wagen lag er nicht, und nur einzelne Ritzen in den schützenden Brettern waren deutlich durch den Reif auch am Boden abgezeichnet. Die Rückstrahlung von den Dächern und Brettern hatte die Abkühlung des Bodens hier verhindert. Am reichsten

fanden wir den Reif in den Thälern und hier besonders im dichten Grase. Von den Bergen hatten die erkalteten, schweren Luftschichten sich in die Thäler herabgesenkt, und wärmere waren dort an ihre Stelle getreten. Von den Spitzen der Gräser war die Luft zu den dichten Büscheln am Boden niedergesunken, hatte sich dort noch mehr erkältet und ihre Feuchtigkeit nun vollends an die Gräser abgesetzt. Am Boden hatte die Luft sich zwar wieder erwärmt, weil die unteren Theile geschützt sind, und hatte darum Bodenfeuchtigkeit aufgenommen; aber bald mußte sie auch diese wieder abgeben. Dieser stete Wechsel hatte hier die Thau- und Reifbildung ganz besonders begünstigt.

Aber warum fanden wir auf den großen Steinen, auf dem nackten Erdboden, auf den eisernen Beschlägen und Nägeln der Brücken und Wagen keinen Reif niedergeschlagen? Strahlten diese denn nicht auch Wärme aus, wie das Holz und die Gräser? Das macht uns auf eine neue Thatsache aufmerksam, auf eine Ungleichheit des Wärmestrahlungsvermögens. Allerdings strahlen alle Körper Wärme aus, aber die Menge dieser Wärme ist abhängig von der Dichtigkeit und Oberflächenbeschaffenheit der Körper. Dichte Körper strahlen die Wärme geringer aus als minder dichte, Metalle am meisten, Glas, Kohle, Sand am wenigsten. Gegossene Metallplatten strahlen mehr Wärme aus als gehämmerte oder gewalzte. Schon eine Ritzung der Oberflächen erhöht das Strahlungsvermögen der Metalle, weil es minder dichte Stellen des Innern zum Vorschein bringt. Rauhe, be-

rußte Flächen zeigen ebenso eine größere Strahlung als glatte, polirte. Daher müssen Leitungsröhren für heiße Dämpfe oder warmes Wasser aus glatten, dichten Metallen angefertigt werden, Oefen aber, die ihre Wärme in das Zimmer ausstrahlen sollen, aus minder dichten Stoffen, aus thönernen Kacheln oder Gußeisenplatten bestehen und rauhe, mit erhabenen Zierrathen bedeckte Oberflächen besitzen.

Die von dem einen Körper ausgehenden Wärmestrahlen werden von dem andern zurückgestrahlt. Das haben wir wohl empfunden, wenn wir an einer sonnebeschienenen Mauer oder Felswand vorübergingen, und selbst auf der spiegelnden Wasserfläche sagte uns das Gefühl, daß dieser flüssige Spiegel nicht allein das Bild, sondern auch das Feuer der Sonne spiegele. Aber diese Rückstrahlung ist freilich nicht eine vollkommne; ein großer Theil der empfangenen Wärme wird von den Körpern verschluckt und zu ihrer eignen Erwärmung verwandt, nur der kleinere strahlt meist von den Körpern zurück. Dieses Rückstrahlungsvermögen steht wieder mit ihrer Dichtigkeit und Oberflächenbeschaffenheit der Körper im Zusammenhang, bildet aber grade den Gegensatz zu dem Ausstrahlungsvermögen. Ein polirter Spiegel wird kaum erwärmt, weil er alle empfangene Wärme zurückgibt, ein mit Ruß geschwärzter Spiegel wird heiß, ohne Wärme zurückzustrahlen. Rauhe und nicht metallische Flächen strahlen mehr Wärme aus, aber weniger zurück als glatte und metallische. So erklärt es sich, daß im geheizten Zimmer trotz aller Verschiedenheit der Oberflächen alle

Gegenstände allmälig eine gleiche Temperatur annehmen, da die Körper, welche die meiste Wärme ausstrahlen und verlieren, auch von den Wärmestrahlen, die ihnen die Umgebung zusendet, die meisten aufnehmen.

Aber wir müssen die Wärmestrahlen weiter auf ihrem Wege verfolgen. Denn daß nicht alle Wärme von den Flächen der Körper zurückgeworfen oder in ihrem Innern festgehalten wird, das lehrt uns die Erinnerung an das behagliche Gefühl, mit welchem der Frühlingssonnenstrahl durch die Fensterscheiben hindurch unsern Körper durchströmte. Die Fensterscheiben vermochten die Wärme nicht aufzuhalten, wie es Jalousien oder Rouleaux gethan hätten, die uns im Sommer gegen die Sonnengluth schützen, indem sie zwar selbst heiß werden, aber darüber hinaus so wenig Wärme als Licht dringen lassen. Die Wärme durchstrahlt also die Körper wie das Licht, und es gibt so gut durchwärmige und undurchwärmige Körper, als es durchsichtige und undurchsichtige gibt. Wir müssen uns wohl klar machen, was wir unter solchen durchwärmigen Körpern zu verstehen haben; es sind Körper, die für die Wärme gleichsam ihre Gegenwart ebenso verleugnen, wie die durchsichtigen für das Licht, die also für das Thermometer grade so unbemerkt bleiben müssen, als die durchsichtigen für das Auge.

Auf den ersten Blick scheint es, als ob die Durchwärmigkeit der Körper in sehr naher Beziehung zu ihrer Durchsichtigkeit stände. Glas, Wasser, Eis, alle sehr durchsichtige Körper, scheinen auch für die Wärmestrahlen sehr durchlässig zu sein. Aber eine nähere Beobachtung

zeigt, daß man sich hier leicht täuschen kann. Ein Körper kann sogar fast undurchsichtig sein, wie schwarzes Glas und Rauchtopas, und dennoch den Wärmestrahlen einen leichten Durchgang gestatten; oder er kann sehr durchsichtig sein, wie ein dünnes Alaunplättchen, und doch für die Wärmestrahlen einer Lampe fast völlig undurchdringlich sein. Was für die Lichtstrahlen das Glas, das ist nach den neuen Beobachtungen für die Wärmestrahlen das Steinsalz. Uneigennützig läßt es sich von der Wärme durchstrahlen, verwendet nichts bei ihrem Durchgange für sich, sondern läßt sie in voller, ungeschwächter Kraft auf das Thermometer überströmen.

Das Steinsalz ist sogar ein bedeutend vollkommnerer Körper hinsichtlich seiner Durchlässigkeit gegen die Wärme, als das durchsichtigste Glas es gegen das Licht ist. Es läßt die Wärmestrahlen mit weit geringerem Verluste durchgehen, als irgend ein Körper das Licht, da das Licht wenigstens von dickeren Körpern immer in größerem Maaße verschluckt wird, als von dünnen, und das klarste Glas durch entsprechende Dicke völlig undurchsichtig gemacht werden kann. Die Steinsalzplatten, mögen sie dick oder dünn sein, lassen stets von 1000 Wärmestrahlen 923 hindurch, und veranlassen keinen andern Verlust, als den von 77 Strahlen, welche sie an ihren Flächen zurückwerfen. Glasplatten werfen zwar auch nur 77 Strahlen zurück, verschlucken aber 693, so daß also nur 230 Strahlen ungehindert das Glas durchdringen. Die Wirkung dieses Durchstrahlungsvermögens ist natürlich ein ähnliches bei der Wärme, wie beim Licht. Durch-

wärmige Körper sind ebenso wenig geeignet zum Auffangen von Wärmestrahlen, als durchsichtige zur Erzeugung von Spiegelbildern. Weingeist in einem Glase wird durch den stärksten Brennspiegel nicht entzündet, wohl aber, wenn man das Glas mit Papier oder Staniol umgibt.

Ein Irrthum oder eine Unklarheit scheint uns aber doch bei diesen Wärmedurchstrahlungserscheinungen noch obzuwalten. Die Wärme, welche mit den Sonnenstrahlen durch die Fensterscheiben in unser Zimmer dringt, scheint es nicht eben so leicht durch die Fenster wieder zu verlassen; sie ertheilt unserm Zimmer eine Wärme, die behaglich gegen die äußere Temperatur absticht. Noch weniger scheint die Wärme unseres Ofens durch die Fenster zu dringen; sonst möchten unsre Fensterscheiben, so freundlich sie das Sonnenlicht zu uns einlassen, doch sehr unfreundliche Räuber an unsrer winterlichen Behaglichkeit werden. Die kleinste Oeffnung an den Fenstern aber, der geringste Mangel in ihrem Verschluß macht uns sehr empfindlich das Entweichen der Wärme bemerkbar. Welch ein Widerspruch scheint also darin zu liegen, daß dieselben Fenster die Wärmestrahlen wohl ein-, aber nicht wieder hinauslassen sollen! Wird die Wissenschaft uns diesen Widerspruch zu lösen vermögen?

Schon vor mehr als 100 Jahren entdeckte Mariotte, daß es in der That verschiedene Arten strahlender Wärme gibt, daß die Wärme, welche die Sonnenstrahlen begleitet, alle durchsichtigen Mittel ebenso leicht als das Licht durchströmt, während die von einem stark erhitzten, aber

noch dunkeln Körper ausgestrahlte Wärme, oder die Wärmestrahlen, welche die Lichtstrahlen eines mäßig glühenden Körpers begleiten, bei ihrem Durchgange durch die durchsichtigste Glasplatte fast vollständig aufgehalten werden. Längst hatte das Leben in Haus und Werkstätte von dieser Thatsache Gebrauch gemacht, ohne sich ihrer bewußt zn werden. Die Arbeiter in Schmelzhütten hatten seit undenkbaren Zeiten die glühende Masse ihrer Hochöfen durch gewöhnliche Glastafeln beschaut und wirklich die Hitze von ihren Augen abgehalten, die sie ohne Schutz verbrannt hätte. Treibhäuser hatte man mit Glas bedeckt, weil man wußte, daß die Sonnenwärme durch das Glas wohl eindrang, die von den Blumen, Wänden, Oefen ausgestrahlte Wärme aber nicht so leicht wieder hinausgelangte. Die Wissenschaft hat nun festgestellt, was die Erfahrung unbegriffen längst besaß.

Die neuere Zeit hat noch Manches zu dieser Entdeckung hinzugefügt. Sie hat im glänzenden Sonnenlichte dunkle Wärmestrahlen nachgewiesen, von deren Dasein nur das Thermometer erzählt, und sie hat diese durch künstliche Mittel sogar vollständig von den leuchtenden Strahlen gesondert. Sie hat gezeigt, daß, je niedriger die Temperatur der Wärmequellen ist, um so geringer nicht allein die Menge der durch eine Glasplatte gehenden Wärmestrahlen, sondern um so geringer auch die Zahl der Körper wird, welche überhaupt noch ihre Wärmestrahlen durchlassen. Je mehr sich die strahlende Wärme dem leuchtenden Zustande nähert, um so größer wird ihr Durchstrahlungsvermögen; kein Wunder also, daß der

Sonnenstrahl fast Alles mit seiner Wärme durchdringt! Die Ahnung, daß diese strahlende Wärme gleichsam nur dunkles Licht sei, wird zu immer größerer Gewißheit.

Diese Gewißheit steigt, wenn wir den Weg des Wärmestrahles nach seinem Durchgange durch die Körper verfolgen. Er wird gebrochen, wird abgelenkt wie der Lichtstrahl und nach demselben Gesetz. Freilich können wir mit unserm Gefühle diesen Seitenwegen nicht folgen, aber der Physiker vermag es durch seine empfindlichen Luftthermometer oder durch die noch empfindlichere thermoelectrische Säule, in der sich die geringste Wärmeänderung durch electrische und magnetische Wirkungen kund giebt. Doch auch für unsere einfachen Sinne giebt es eine Thatsache, aus welcher die Brechung der Wärmestrahlen unleugbar hervorgeht. Jene Linse, welche die mit ihrer Axe parallelen Lichtstrahlen in einem Punkte vereinigte und in ihren vergrößerten oder verkleinerten Bildern der Gegenstände uns die Ablenkung der Lichtstrahlen sichtbar machte, jene Linse vereinigt ja auch die Wärmestrahlen in demselben Punkte, und dieser Punkt erhielt ja eben davon den Namen des Brennpunkts. Wer kennte nicht die Wirkungen des Brennglases aus seiner Kindheit, die hier freilich erst ihre Bedeutung und ihr Verständniß gewinnen!

Wie die Lichtstrahlen endlich, die durch eine enge Spaltöffnung gingen, gebeugt wurden und sich seitwärts ausbreiteten, so werden auch die Wärmestrahlen gebeugt, und das Instrument des Physikers vermag ihre seitliche Ausbreitung so gut nachzuweisen, wie das Auge die der

Lichtstrahlen. Wärmestrahlen, die durch zwei einander sehr nahe Oeffnungen gehen, heben sogar einander ebenso auf, wie zwei Lichtstrahlen, die Dunkelheit erzeugen, wie zwei Wasserwellen, welche in eine ebene Fläche zusammenfließen.

Solche Thatsachen sind freilich nur dem Physiker in seinem Kabinette zugänglich; sie enthüllen sich uns nicht auf grüner Flur, denn unsere Nerven sind zu grob, zu stumpf, um dieses zarte Leben der Natur zu erfassen. Was aber das künstliche Instrument der Wissenschaft aufzeigt, ist mindestens ebenso sichere Thatsache, als was die groben Sinne täglich erschauen und tasten. Es berechtigt zu Schlüssen über das verborgene Wesen der Naturerscheinungen. Diese Uebereinstimmung zwischen Wärme und Licht in allen ihren Erscheinungen, allen ihren Bewegungsgesetzen drängt uns mehr und mehr, den Unterschied fallen zu lassen, den wir in unsrer Alltäglichkeit zu machen gewohnt waren. Wärme und Licht beruhen beide auf einer Wellenbewegung, sind nur verschieden empfundene Wirkungen derselben Erscheinung. Ein Unterschied kann hier nur in der Größe der Wellen, in ihrer Breite und Höhe, in ihrer Wirkung bestehen. Wenn ein Glasspiegel nur das Licht und nicht die Wärme eines künstlichen Lichtes zurückwirft, wenn wir das Mondlicht sehen, aber seine Wärme auch durch die besten Thermoskope nicht wahrzunehmen vermögen, so zeugt das nur von einer verschiedenen Empfänglichkeit des Auges und des Thermoskops für solche durch Zurückwerfung geschwächte Wellen.

Daß wir die von dunkeln Körpern ausgehenden Wärmestrahlen nicht sehen, d. h. nicht als Licht empfinden, liegt einfach darin, daß die wässrigen und salzigen Flüssigkeiten unseres Auges für diese Strahlen gleichsam undurchsichtig, besser undurchwärmig sind. Gäbe es ein Thier, dessen Auge diese Wärmestrahlen durchließe, so würden diesem Thiere Körper, die uns dunkel erscheinen, sich als selbstleuchtende zeigen.

Was das Auge als Licht empfindet, empfindet der Tastsinn als Wärme. Das Empfundene ist dasselbe, aber die Verschiedenheit der Empfindungen ist so groß, daß sie die natürliche Erfahrung nie auf den Einfall kommen ließ, beide Empfindungen seien Wahrnehmungen desselben äußeren Gegenstandes. Die natürliche Anschauung verblendete vielmehr so hartnäckig selbst die Köpfe der Physiker, daß die mühsamste und ausführlichste Vergleichung aller Einzelnheiten im Verhalten des Lichts und der strahlenden Wärme dazu gehörte, um erst in der neuesten Zeit ihnen mehr und mehr die Ueberzeugung aufzudrängen, beide Erscheinungen seien im Wesen dieselben, nur etwa durch Einzelnheiten, Schwingungsdauer oder Wellenbreite unterschieden. Der tastende Nerv der Haut macht nun keine Unterschiede in diesen Strahlungen nach ihrer Schwingungsdauer, das Auge dagegen sehr bestimmte. Die Haut empfindet die leuchtende Wärme der Sonne, wie die dunkle des Ofens. Die tastende Haut besitzt auch keine Apparate, welche, wie die optischen des Auges, die Strahlungen jedes einzelnen Punktes draußen auch auf einen einzelnen Punkt der Nervenfläche concen-

triren und von allen übrigen sondern. Die Haut empfindet daher ihre Eindrücke nur allgemein, ohne ein Urtheil über den Ort und die Form des strahlenden Dinges. Nur beim Blinden übernimmt vielleicht die Haut bisweilen die Rolle eines Auges und macht es ihm möglich sich nach Wärmestrahlungen zu orientiren, die ihm von den Körpern, denen er sich nähert, zugesandt werden.

Licht und Wärme haben also eine gemeinsame Quelle, und diese Quelle kann nicht ein Stoff sein, der von den Körpern ausströmt und sich nach Gesetzen chemischer Verwandtschaft mit den Körpern verbindet. Die strahlende Verbreitung der Wärme selbst von Körpern, die kälter als ihre Umgebungen sind, selbst im leeren Raume, die ununterbrochene Entwickelung von Wärme durch Reibung oder Electricität, die Brechung und Interferenz von Wärmestrahlen, alles das blieben bei der Annahme eines Wärmestoffs unerklärbare Erscheinungen. Die gemeinsame Quelle für Licht und Wärme kann nur die Wellenbewegung sein.

Freilich verhüllt uns noch manches geheimnißvolle Dunkel dieses neue Wellengebiet, das wir betreten. Aber wir haben ja auch nur erst einen flüchtigen Blick in dieses Gebiet geworfen. Eine Morgenwanderung zur Schmiede, ein sinnendes Ruhen im Schatten des Waldes genügt nicht, alle die wunderbaren Vorgänge dieses Gebietes zu schauen und zu begreifen, denen der Physiker mühsam mit den feinsten Instrumenten seines erfindungsreichen Genies nachgeforscht hat. Tieferem Blicke wird auch ein tieferes Verständniß aufgehen.

Aber schon jetzt ist eine gewaltige Umwandlung mit unsern Anschauungen von den Wirkungen der Wärme vorgegangen. Der Wärmezustand eines Körpers ist uns zu Schwingungen geworden, seien es nun Schwingungen seiner eigenen Massentheilchen, oder jenes von dem Physiker aus Bequemlichkeit ersonnenen Aethers. Alles ist unablässig in solchen Schwingungen begriffen, denn ununterbrochen gehen Wärmestrahlen von allen Körpern aus. Ihrer Schnelligkeit wegen nehmen wir diese ununterbrochenen Schwingungen nicht wahr; erst wenn sie eine gewisse Stärke und Größe erlangt haben, geben sie sich durch die Ausdehnung der Körper und durch die Veränderung ihrer Aggregatzustände zu erkennen. Schnell schreiten diese Schwingungen in der Form von Wellen nach allen Seiten hin fort; jedes Theilchen theilt dem andern seine Bewegung mit, um selbst zur Ruhe zurückzukehren. Wenn aber Massen in Bewegung gesetzt werden sollen, wenn die Wärmewelle einen Körper durchschreitet, so vermögen nur langsam und durch wiederholte Anstöße die Schwingungen der Körpertheilchen zu einer merkbaren Größe anzuwachsen, grade wie ein Pendel durch wiederholte schwache Stöße erst nach und nach in starke Schwingungen versetzt wird. Darum erfolgt die Wärmestrahlung schnell, die Wärmeleitung langsam und um so langsamer, je lockerer das Band ist, das die Theilchen eines Körpers zusammenhält, je weniger die Theilchen geneigt sind, eine Störung, die dem einen widerfährt, zu einer gemeinsamen Sache zu machen.

In die Frühlingslandschaft waren wir hinausgezo-

gen, um den Frieden der Natur auch in unser Herz einziehen zu lassen. Ein wogendes Meer haben wir gefunden! Wellen rauschen durch das sonnige Thal, durch die kühlen Schatten des Waldes. Zart und leise schleichen diese Wellen daher; ihr Donner erschreckt nicht das Ohr, ihr Schlag zerschmettert nicht Felsen, wie die brandende Woge des Oceans. Kein Organ des Menschen vermag sie zu erfassen. Aber diese kleine, stumme Welle durchzittert das ganze Weltall vom Staubkorn zum Sonnenball; diese unfaßbar zarte Welle vermag in ihrem unablässigen Andrang Felsen zu spalten und Welten in Trümmer zu schlagen. Das Auge unseres Geistes schweift in die endlosen Fernen dieses ruhelosen Meeres; und unsre Seele ergreift immer banger die Sehnsucht nach Frieden, nach Harmonie!

Sechstes Kapitel.

Töne und Farben.

Nach Frieden und Harmonie verlangte es uns in dem wilden Getümmel von Licht- und Wärmewellen, womit unsre Phantasie den stillen Schatten des Waldes belebte. Da ertönt über unserm Haupte im Wipfel eines Baumes der Schlag eines Finken, und es ist, als ob die ersehnte Harmonie mit jedem Tone, dem wir lauschen, in unser Herz einkehre. Schon einmal war es, daß der Vogelsang so süßen Zauber in uns wirkte, damals, als er zu uns den ersehnten Frühling einführte,

als wir in diesen Tönen ein erwachendes Erdenleben ahnten. Woher diese Macht des Gesanges, dieser besänftigende Zauber so einfacher Töne? Denn einfach sind sie, und nur gering ist ihr Umfang, nur wenige sind der Töne, in welchen das Lied des Finken sich bewegt. Das Geheimniß ihrer Macht ist eine Ordnung, ein Gesetz, wovon der freilich nichts ahnt, der mit blödem Ohr in die Natur hinauslauscht. Ob Finke und Lerche und Nachtigall gemeinsam ihre Lieder erschallen lassen, und ob Hunderte der verschiedensten Vögel ihre Stimmen drein mischen, niemals wird uns dieser Lärm unbequem, nie wird unser Ohr von widerlichen Mißklängen berührt, wie es doch sonst das Zusammenklingen zweier Musikstücke nothwendig hervorruft. Hier ist ein Geheimniß, dem wir nachzuforschen haben.

Ein tief eingreifendes Geheimniß muß es sein, das sich uns enthüllen soll! Denn sollte jene Harmonie allein im Reiche der Schallwellen herrschen, sollte sich nichts Entsprechendes finden in dem Bereiche jener zarteren Wellen, die wir als Licht und Wärme empfanden? Schall, Licht, Wärme, sie sind ja eine innig verschlungene Dreiheit von Lust und Leben spendenden Bewegungen in der Natur. Gemeinsam leiteten sie den Frühling ein. Nicht Töne allein entquollen seinem Hauche, Farben sproßten unter seinen Schritten, und Wärme war sein lebenweckendes Element. Gemeinsam betten sie die Natur in ihr winterliches Grab, ihre gemeinsame Flucht vollendet die Ruhe und Erstarrung des Winters.

Ruhe und Erstarrung bezeichneten wir als den

Charakter des Winters. Es ist wahr, die organische Welt schlummert unter Steinen und Moos, in Höhlen und Erdspalten, oder ist fern hin geflohen vor dem lebentödtenden Froste; es ist wahr, in Knospenschuppen und Wurzelknollen hat die ihres Schmuckes entkleidete Pflanzenwelt alle ihre Lebensfülle verschlossen. Ein weißes Leichentuch verhüllt die schlummernde Welt, und dieses Leichentuch ist selbst ein erstarrtes Leben; das unruhige Element, dessen Kreislauf Himmel und Erde, Alpen und Meer vermittelt, das in steter Bewegung Quell und Träger des Lebens wird, ist hier in die starren Fesseln des Krystalls geschlagen. Es ist wahr, auch die Töne der Natur erstarben; mit dem Gesang der Vögel und dem Summen der Käfer und Mücken schwand auch das Rauschen der Wälder und das Rieseln des Quelles. Düstres Schweigen ruht auf der Flur. Es ist wahr, auch die Farben bleichten dahin; Grau und Braun ward das Alltagsgewand, schlichtes Weiß das Festgewand des Winters; Nacht umhüllt die Erde. Es ist wahr, auch die Wärme schwand, und eisiges Wehen treibt den Rest des Lebens zu künstlichen Wärmequellen. Das ganze liebliche Wellenmeer ruht, erstarrt, wie der krystallne See, regungslos, ein todter, glatter Spiegel!

Das alles ist wahr; aber wie nimmer das Wellengetümmel des Oceans völlig ruht, und nur die Phantasie ihn zur Spiegelfläche glättet, so giebt es auch in diesem zarten Wellenocean keine Zeit voller Ruhe. Der Dichter mag von einem winterlichen Grabe sprechen, die Natur kennt es nicht. Der Polarfuchs schleicht auch über

die starren Eisfelder der Pole, die Schneemaus gräbt ihre Löcher an den Grenzen ewigen Schnees, und mikroskopische Algen schmücken noch das Gletschereis mit blutigem Roth. So zieht auch manche Welle noch durch das winterliche Aethermeer, Töne und Farben aus der vermeinten Grabesnacht weckend. Das Lied erstarb, aber der Sturm heult um so lauter seine wilden Lieder, der Schnee knistert unter unsern Füßen, das Eis kracht in den Fesseln des Frostes. Die bunten Blumen verbleichen; aber funkeln nicht die herrlichsten Farben in den Tausenden zarter Krystalle, die in mährchenhafter Pracht die Zweige der Bäume bedecken, und flammen sie nicht an dem nächtlichen Horizonte über dem silbernen Bogen des Nordlichts? Nicht starre Ruhe, nicht Tod ist das Wesen des Winters, aber sein Leben gleicht einem Chaos; dieselben Elemente sind vorhanden, dieselben Wellen, aber sie wogen durcheinander; die Harmonie fehlt! Die Befreiung der Elemente, ihre Sonderung, ihre Ablösung zu individueller harmonischer Gestaltung, das ist das Erwachen des Lebens! Die erste freie Welle, die an das Ufer schlägt, der erste harmonische Ton, die erste sich gestaltende Farbe, das sind uns die Grüße des kommenden Frühlings!

Was ist das Wesen dieser Harmonie, die wir ja geradezu als das Symbol des Lebens bezeichnen möchten? Versetzen wir uns zurück an jenen sturmbewegten See und erinnern wir uns, wie sein wildes Wellengewirr sich zu einem harmonischen Bilde gestaltete, in dem wir deutlich die großen und kleinen, einander schneidenden Wellenzüge

unterschieden. Aus einer Verschmelzung der kleinen Unebenheiten war diese Harmonie hervorgegangen. Die ersten langsam nacheinander folgenden Windstöße hatten die Fläche nur gekräuselt, die immer schneller und schneller folgenden Stöße erzeugten Wellen, und der mächtige Sturm vereinigte diese Wellen zu einem einzigen großen Wellensystem.

Treten wir jetzt in das zartere Reich der Schallwellen ein. Still und unbewegt war dieses Wellenmeer um uns nicht, ehe der harmonische Ton des Finkenschlags unser Ohr traf. Zahllose Wellen durchzogen es. Der Wind rauschte durch die Bäume, und fernhin vernahmen wir das Rieseln und Plätschern verborgenen Wassers. Von der Straße im Thale herauf drang das Knarren beladener Wagen, das Klirren der Wagenketten, und dicht um und unter uns rasselte und summte es von Käfern, die sich durch das Laub arbeiteten, von Insecten, die uns umschwirrten. Das waren auch Wellen, die unser Ohr trafen, aber warum berührten sie uns anders als das Lied des Finken?

Hier muß uns die Erinnerung zu Hülfe kommen, eine Erfahrung, die wir im stillen Stübchen machten, als draußen der Frost des Winters noch die Quellen der Töne verschlossen hielt. Wir saßen in der Dämmerung im warmen Zimmer, und der wilde Schneesturm, der draußen vor den Fenstern tobte, hatte uns veranlaßt, mächtiger das Feuer unseres Ofens zu schüren. Wir hatten des Guten wohl zu viel gethan, und wir öffneten darum die Thür des Ofens, um seine Gluth zu mäßigen. Da vernahmen wir plötzlich eigenthümliche Töne,

die schnell hinter einander geisterhaft durch das Zimmer klangen. Allmälig folgten sich diese Töne langsamer, und damit verlor sich auch ihr Klang und ging in ein knarrendes Geräusch über. Die erkaltende Ofenthür war es gewesen, welche diese Töne zauberte. Die Ungleichheit im Erkalten der Ofenthür hatte eine Menge von einzelnen Stößen erzeugt, Schwingungen, die vereinzelt sich uns mittheilend nur den Eindruck einzelner Schallempfindungen, als Ganzes aber den Eindruck eines Tones veranlaßten.

Ein Schlag mit dem Stocke gegen einen Baum ist noch kein Ton, so weit er auch hin schallt; und so viele solcher Schläge wir auch folgen lassen, sie erzeugen höchstens ein Geräusch, aber keinen Ton. Wenn wir aber mit dem Stocke auf eine Metallplatte oder auf ein Trommelfell schlagen, so erscheint augenblicklich der Ton. Das unelastische Holz ließ es bei der ersten erregten Schallwelle bewenden, das elastische Metall erzeugte sie von neuem und immer wieder in regelmäßigen Abständen. Zur Empfindung eines Schalles gehört also eine vereinzelte Schwingung, zur Empfindung des Tones eine Summe von Schwingungen, und, da auch das Geräusch eine solche ist, eine Summe gleichmäßiger Schwingungen, wie sie durch die gleichmäßigen Wirkungen der Elasticität bedingt sind. Es gehört endlich dazu eine gewisse Geschwindigkeit dieser Schwingungen, damit sie unser Ohr nicht mehr als einzelne, sondern in ihrer Gesammtheit als Einheit zu erfassen vermag. Denn Einheit, Ganzheit ist das Wesen aller Harmonie.

Wenn wir einen schlaff gespannten Faden durch einen Stoß in Schwingung bringen, so sehen wir zwar deutlich diese einzelnen regelmäßigen Schwingungen, aber wir vernehmen keinen Ton. Wenn wir aber den Faden straffer spannen, daß kräftiger der Kampf zwischen den gestörten elastischen Kräften sich regt, so werden die Schwingungen schneller und entziehen sich mehr und mehr dem Auge, um sich dem Ohre als Töne zu offenbaren, und je straffer der Faden, je schneller die Schwingungen, um so höher und heller erklingen die Töne. Es giebt also eine Grenze, an welcher das Ohr nicht mehr hört, d. h. Schwingungen nicht mehr als Töne erfaßt, und es giebt ein Maß, welches die Höhe der Töne mißt, und diese Grenze und dieses Maß liegt in der Geschwindigkeit der regelmäßig einander folgenden Schwingungen.

Nicht an die Natur der Körper ist also die Bedingung der Tonbildung geknüpft, sondern nur an die Regelmäßigkeit und Schnelligkeit in der Aufeinanderfolge ihrer Schwingungen. Die Elasticität der Körper kommt nun unserm Unvermögen, so schnelle und so gleichförmige Anstöße hervorzurufen, durch die automatisch unsern ersten Stoß fortpflanzende Theilchenbewegung zu Hülfe. Wo aber durch irgend welche Vorgänge in der Natur oder künstliche mechanische Vorrichtungen unelastische Anstöße in hinlänglicher Häufigkeit und Regelmäßigkeit erzeugt werden, da tritt auch der Ton als nothwendige Folge und Zeuge dieses Vorgangs ein. Die Töne, welche das Wasser kurz vor dem Sieden hören läßt, sind sol-

chen Ursprungs. Sie entstehen durch die schnell auf einanderfolgende Bildung von Dampfbläschen, die stets sofort wieder verdichtet werden, und in deren Raum das Wasser zusammenschlägt. Die wunderbaren Töne erkaltender Ofenthüren sind eben solchen Ursprungs, erzeugt durch die in stetem Wechsel von Ausdehnung und Zusammenziehung wechselnden Berührungen mit der kälteren Unterlage. Auch die Mechanik hat Mittel zu so regelmäßigen und schnellen Bewegungen gefunden, wie sie das Wesen der Tonerzeugung fordert, und da die Mechanik genau ihre Mittel kennt, mit denen sie ihre Wirkungen ausführt, so ist sie auch im Stande, die einzelnen schnellen Anstöße zu zählen, die in ihrer Summe die verschiedenen Tonempfindungen hervorrufen.

Da wir uns einmal darauf eingelassen haben, die lieblichen Genüsse unseres Ohres zu zergliedern, und da uns zu diesem Zwecke eine feinere Unterscheidung und Messung der zarten Bewegungen, die wir als Ursache des Schalles kennen lernten, Bedürfniß geworden ist, so dürften wir uns von jener mechanischen Vorrichtung eine große Hülfe versprechen. Es ist ein gewöhnliches gezahntes Rad, welches bei der Umdrehung um eine Axe mit den Zähnen gegen eine elastische Feder stößt. Bei langsamer Drehung hören wir nur einzelne Stöße, die zu einem knarrenden Geräusche werden, ganz wie wir es längst von andern Rädern aus Erfahrung kennen. Bei schnellerer Bewegung aber entsteht ein Ton, anfangs ein dumpfer, tiefer, der aber immer heller wird und die höchsten Stufen unserer musikalischen Tonleiter erreicht,

wenn die Drehung des Rades ihre größte Beschleunigung erhält. Da nun die Drehung dieses Rades selbst wieder durch ein Räderwerk vermittelt wird und jedem einmaligen Umschwunge des ersten Rades eine genaue, voraus bestimmte Anzahl von Drehungen des letzten Rades entspricht, so läßt sich sogar an einem Zeiger die Zahl der Umdrehungen ablesen, welche jedem einzelnen der Töne vom ersten und tiefsten bis zum letzten und höchsten noch hörbaren entsprechen. Das ist die von Savart erfundene Sirene.

Auch ein gleichmäßiger Luftstrom, der gegen eine am Rande mit Löchern versehene Scheibe stößt, kann durch die regelmäßigen Unterbrechungen, welche er durch eine Umdrehung der Scheibe erfährt, solche Schwingungen und Töne hervorbringen, und Seebeck's und Cagniard la Tour's Sirenen beruhen auf diesem Princip. Durch solche Instrumente ist es dem Physiker gelungen, die Grenzen zu bestimmen, innerhalb welcher für das empfindlichste Ohr noch Tonempfindungen möglich sind. Savart giebt für den tiefsten hörbaren Ton 7—10 Schwingungen in einer Secunde, für den höchsten, aber wohl nur selten unterschiedenen Ton 45000 Schwingungen in der Secunde an. Die Musik bewegt sich freilich in engeren Grenzen. Der tiefste Ton der Orgel, der einer 32 füßigen offenen Pfeife, das Sub-contra-C, entspricht 16 Schwingungen in der Secunde, und der höchste Ton, das 5 gestrichene c, 4096 Schwingungen. Zwischen beiden Tönen liegen die 8 Octaven der Musik.

Auf solchen unelastischen, nur künstlich in solcher

Regelmäßigkeit und Geschwindigkeit zu erzeugenden Anstößen kann nun freilich keine Musik sich gründen. Sie bedarf der innern Bewegung der Stoffe selbst, die nur angeregt zu werden braucht, um in ewiger und unabänderlicher Gleichmäßigkeit fortzuklingen. Die Elasticität der Körper ist die geheimnißvolle Sirene, die uns aus den Stoffen heraus ihre Zaubertöne erklingen läßt.

Wenn nun gleich alle Körper eine gewisse Elasticität besitzen, so werden uns doch nur diejenigen wahrnehmbare Töne zu erzeugen vermögen, die einen solchen Grad von Elasticität besitzen, daß ihre Theilchen eine merkliche Störung ihrer Gleichgewichtslage erleiden, daß sie hinreichend schnelle und kräftige Bewegungen annehmen können. Flüssigkeiten also, die wir als so wenig zusammendrückbar bereits kennen lernten, schließen von vornherein den Zauber der Töne aus. Da aber alle elastischen Körper, die wir zu solchen Schwingungen anregen können, begrenzte sind, und die Bewegungen der Theilchen an ihren Grenzen, wie die Wellen des Sees am Ufer, zurückgeworfen werden, so müssen sich stets in tönenden Körpern stehende Wellen erzeugen. Das Bild jener Wasserfläche nach dem Sturm, welche durch die beständige Wiederkehr der zurückgeworfenen Wellen und durch beständige Ausgleichung endlich zu einer unveränderlichen, gleichsam nur auf- und niederschwankenden Form erstarrt war, giebt uns jetzt das Bild jedes tönenden Körpers. Die Zahl der Schwingungen, die Zahl der Knotenpunkte in diesen stehenden Wellen bedingt die Höhe und Tiefe des gehörten Tones.

Wenn unser Ohr Töne vernimmt, wenn das geübte Ohr des Musikers sogar die feinsten Unterschiede zwischen den Tönen herauszufühlen vermag, so zählt es indeß keineswegs die Schwingungen oder die Wellen, welche sie erzeugen. Zu zählen lieben die Sinne überhaupt nicht; sie nehmen unmittelbar, sie nehmen nur Ganzes auf. Aber das Ohr vergleicht, es unterscheidet Verhältnisse. In diesen Verhältnissen beruht das Geheimniß des Wohlklangs, wie aller Harmonie auf dem Gebiete des Schönen.

Wenn zwei Töne von wenig verschiedenen Schwingungszahlen zusammenklingen, so vermag sie selbst das geübteste Ohr selten zu unterscheiden. Wenn aber ihre Schwingungszahlen in einem gewissen einfachen Verhältnisse zu einander stehen, so vermag das einfachste Ohr sie zu erfassen, sie klingen ihm angenehm, sie harmoniren. Der Sinn verlangt Uebergänge, und Uebergänge beruhen auf Verhältnissen. Wir wissen, wie schwer es dem tüchtigsten Sänger wird, vom Tone d zu f überzugehen, während er mit Leichtigkeit die Octave findet. Jenem entspricht das Verhältniß von 27..32, diesem das Verhältniß von 1..2. Einfache Verhältnisse erzeugen den Wohlklang, die Consonanz, schwierige, verwickelte Verhältnisse den Mißklang, die Dissonanz.

Auf diesen Verhältnissen oder Intervallen beruht die musikalische Unterscheidung der Töne. Wenn wir eine bestimmte Saite, welche uns den Ton c giebt, nach gewissen einfachen Verhältnissen verkürzen, so werden wir uns nach einander alle einzelnen Töne der musikalischen Octave erzeugen können. Denn von der Länge der

schwingenden Saite hängt die Zahl der Schwingungen, also auch die Höhe der Töne ab. Die schwingende Saite folgt ja genau dem Gesetz des schwingenden Pendels.

Die einfachsten aller Zahlenverhältnisse sind jedenfalls die durch die Zahlen 2, 3, 5 gebildeten, und wenn die Wirkung der Töne wirklich von solchen Zahlen abhängt, wenn die Harmonie der Musik wirklich auf so gemeinen Gesetzen der Verhältnisse beruht, so müssen wir durch ansprechende Verkürzung der Saiten die wohlklingendsten aller Töne erzeugen können. In der That, verkürzen wir unsre C-Saite um die Hälfte, so erhalten wir das ansprechendste und selbst von den rohesten Völkern empfundene Tonverhältniß der Octave c. Verkürzen wir die Saite auf $^2/_3$, so erhalten wir die Quinte G; verkürzen wir sie auf $^4/_5$, so erhalten wir die große Terz E. Lassen wir diese 3 Töne mit dem Grundton zugleich erklingen, so daß also das Verhältniß ihrer Schwingungen durch die Zahlen 4, 5, 6, 8 bestimmt wird, so erhalten wir die schönste aller Tonverbindungen, den in der Musik als großer Dur-Dreiklang bekannten Accord CEG. Aber wir können noch weitere Töne nach diesen einfachen Verhältnissen bilden. Nehmen wir die Quinte G zum Grundton und verkürzen ihre Saite nach einander auf $^1/_2$, $^2/_3$, $^4/_5$, so erhalten wir wieder die Octave g, die entsprechende Quinte D (eigentlich deren höhere Octave d), die zum Grundton C die Secunde bildet, und die entsprechende Terz H, die zum Grundton C die Septime bildet. Endlich konnten wir, statt die Octave c zu erzeugen, statt also unsre C Saite um $^1/_2$

zu verkürzen, sie in einem ebenso einfachen Verhältniß auf $^3/_4$ verkürzen, und wir würden dann die Quarte F vernommen haben. Nehmen wir diesen Ton wieder zum Grundton und bilden uns seine Terz und Quinte nach dem einfachen Verhältniß der Zahlen 4, 5, 6, so erhalten wir als seine Terz den Ton A, die Sexte zum Grundton C, und als seine Quinte den Ton c, die Octave von C. Diese 7 in so einfacher Weise erzeugten Töne bilden die Elemente jeder nach den allgemeinen Schönheitsgesetzen gebildeten Musik. Es sind die Töne der sogenannten diatonischen Durtonleiter, die nach ihrer Höhe geordnet und mit den entsprechenden Schwingungszahlen, den Grundton C als Einheit genommen, folgende Reihe bilden:

C	D	E	F	G	A	H	c
1	$^9/_8$	$^5/_4$	$^4/_3$	$^3/_2$	$^5/_3$	$^{15}/_8$	2.

Wir sehen auf den ersten Blick, daß die Verhältnißzahlen zwischen den Nachbartönen in dieser Reihe nicht gleich groß sind. Zwischen C und D, zwischen F und G, A und H finden wir das Verhältniß $^9/_8$, zwischen D und E, G und A $^{10}/_9$, zwischen E und F, H und c $^{16}/_{15}$. Diese verschiedenen Abstände oder Intervalle sind in der Musik von großer Wichtigkeit, und man bezeichnet sie hier, das erste als einen großen, das zweite als einen kleinen ganzen, das dritte als einen großen halben Ton. Aber diese Intervalle sind noch nicht die einzigen in der Musik vorkommenden. So gut wie der Ton C, muß jeder andre den Grundton einer musikalischen Tonfolge abgeben können. Zu diesem Zwecke aber genügen

die Töne der C=dur=Tonleiter nicht mehr, und es müssen statt ihrer etwas höhere oder tiefere Töne eingeschaltet werden. Nach der einfachen Ordnung, welche wir in der Durtonleiter erforderlich fanden, wenn die Folge der Intervalle unser Ohr befriedigen soll, müssen vom Grundtone aus stets 2 ganze Töne, 1 halber Ton, 3 ganze Töne auf einander folgen. Gehen wir nun von E aus, so findet schon dessen große Terz nicht mehr den entsprechenden Ton in G, denn die Terz für E verlangt einen Ton, dessen Schwingungszahl $^5/_4$ mal die von E übertrifft, also $= {}^{25}/_{16}$ ist, während die Schwingungszahl von G nur $^3/_2$ beträgt. Es muß also statt des Tones G ein Ton eingeschaltet werden, der auf 16 Schwingungen des Grundtones 1 Schwingung mehr enthält als der Ton G. Dieser um so viel höhere Ton wird in der Musik mit Gis bezeichnet. Ebenso würde beim weiteren Fortschreiten von der Quinte H zur zugehörigen Terz ein Ton erfordert werden, dessen Schwingungszahl $^{75}/_{32}$ betrüge, der sich also wesentlich von dem Tone d, dessen Schwingungszahl $^9/_4$ ist, unterscheidet und in der Musik als dis bekannt ist. Durch solche Einschaltungen wird nun zwar die alte Ordnung der Intervalle hergestellt, aber es werden neue Töne eingeführt, die zu denen, an deren Stelle sie getreten sind, noch geringere Intervalle bilden, als die bisher unter dem Namen der großen halben Töne erwähnten. Vergleichen wir Gis und G oder Dis und D mit einander, so finden wir in beiden Fällen ein Intervall von $^{25}/_{24}$. Diese Intervalle werden als kleine halbe Töne bezeichnet.

Eine neue Veranlassung zur Einschaltung von Zwischentönen wird durch den Mollaccord gegeben. Wenn die einfachste aller Tonverbindungen, der große Durdreiklang, aus der Terz und Quinte des Grundtons, also aus der Aufeinanderfolge zweier Terzen hervorging, von denen die erste dem Intervall $^4/_5$, die zweite dem Intervall $^5/_6$ entsprach, und die darum als große und kleine Terz unterschieden wurden; so wird eine ganz andre Tonverbindung erzeugt werden, wenn man die Ordnung dieser Intervalle umkehrt, der kleinen Terz die große folgen läßt, obgleich man doch nur auf anderem Wege zu demselben Ziele, der Erzeugung der Quinte des Grundtons, gelangt. Die Schwingungsverhältnisse dieser 3 Töne werden also 1, $^6/_5$, $^3/_2$ oder in ganzen Zahlen 10, 12, 15, während sie im Durdreiklang den einfachen Zahlen 4, 5, 6 entsprechen. Diesem verwickelteren Zahlenverhältniß entspricht natürlich auch der Eindruck, welchen der Molldreiklang im Ohre und im Gemüthe hervorruft; er ist minder klar und minder lebendig. Der Mollaccord verlangt darum zum Grundton C nicht die der Schwingungszahl $^5/_4$ entsprechende große Terz E, sondern einen etwas niedrigern, der kleinen Terz $^6/_5$ entsprechenden Ton Es, so daß der C-Mollaccord die Töne C, Es, G umfaßt. Durch eine ähnliche Erweiterung, wie beim Duraccorde, läßt sich auch aus dem Mollaccorde die Molltonleiter ableiten, indem man der Quarte ihren Mollaccord, der Quinte ihren Duraccord giebt. Diese Molltonleiter für den Grundton C umfaßt daher folgende Töne und folgende Zahlenverhältnisse:

C	D	Es	F	G	As	H	c
1	$^9/_8$	$^6/_5$	$^4/_3$	$^3/_2$	$^8/_5$	$^{15}/_8$	2.

Das musikalische Bedürfniß schafft in dieser Weise zwischen allen ganzen Tönen zwei halbe Töne, bald durch Erhöhung des einen, bald durch Vertiefung des andern Tones, von denen die ersteren durch Anhängung der Silbe is, die letzteren durch die Silbe es bezeichnet werden, ausgenommen b, as und es, die für hes, aes und ees eingeführt sind. So kann man eine Tonfolge vom Grundton zu seiner Octave bilden, die aus 12 halben Tönen besteht; es ist die chromatische Tonleiter in der Musik:

	Cis		Dis	E	Eis	Fis		Gis		Ais	H	His
C		D					G		A			
	Des		Es	Fes	F	Ges		As		B	Ces	C.

Die ausübende Kunst vermag dem Gesetz in allen seinen strengen Forderungen nicht überall zu folgen. Das ist in der Musik wie auf allen praktischen Gebieten der Fall. Es müssen Mittelwege eingeschlagen werden, durch welche man der ausübenden Mechanik auf der einen Seite und dem gesetzlichen Sinne auf der andern in gleicher Weise gerecht wird. Man muß feine Unterschiede fallen lassen und Abweichungen von dem einen Gesetze gestatten, um das andre nicht noch auffallender zu verletzen. So sieht sich die ausübende Musik gezwungen, jene feinen Unterschiede zwischen den erhöhten und vertieften halben Tönen von vornherein auszugleichen. Denn solche Unterschiede bestehen in der That. Wenn der erhöhte Ton Gis auf je 80 Schwingungen des Grundtons C 125 Schwingungen macht, so verlangt der vertiefte Ton As deren 3 mehr, und auf 375 Schwingun-

gen des Tons Dis kommen 384 Schwingungen für Es. So gering auch diese Unterschiede sein mögen, so wird doch immerhin durch ihre Ausgleichung das natürliche Verhältniß der Intervalle gestört. Aber dieses Verhältniß erleidet noch durch einen andern Umstand Störungen. So einfach und natürlich, ja so unumgänglich die Forderung der Theorie erscheint, die Schwingungszahlen so festzustellen, daß alle großen Terzen genau das Schwingungsverhältniß $1 : {}^5/_4$, alle kleinen Terzen das von $1 : {}^6/_5$, alle Quinten das von $1 : {}^3/_2$, alle Octaven das von $1 : 2$ behaupten, so läßt sie sich dennoch in der Praxis nicht durchführen. Die Töne würden andre werden, je nach den Wegen, auf denen man zu ihnen gelangte. Wollte man durch lauter große Terzen vom Grundton C, also durch E und Gis zur Octave c fortschreiten, und wollte man diese Terzen genau stimmen, so würde der Ton c das Schwingungsverhältniß ${}^{125}/_{64}$ erfordern, während es doch für die Octave 2, also um ${}^3/_{64}$ größer ist. Die Octave würde zu tief werden. Wollte man ebenso durch lauter kleine Terzen von C durch Es, Ges, A zu c fortschreiten, so würde man für c das Verhältniß ${}^{1296}/_{625}$, das um ${}^{46}/_{625}$ zu groß wäre, also eine zu hohe Octave erhalten. Solche feine Unterschiede würden aber bei jedem Fortschreiten durch andre Intervalle als Octaven eintreten, und man bezeichnet sie in der Musik als Komma. Da es aber darauf ankommen muß, vor allem das einfachste Tonverhältniß rein zu erhalten, für welches das Ohr am empfindlichsten ist, so hat man sich in der Praxis genöthigt gesehen, alle jene kleinen Unterschiede fallen

zu lassen und auf die einzelnen Töne so zu vertheilen, daß alle Intervalle gleich sind. Durch diese gleichschwebende Temperatur weicht man allerdings von den strengen Zahlenverhältnissen der Theorie etwas ab, macht alle Töne etwas zu hoch oder zu tief, aber man erreicht eine Vereinfachung der Tonverhältnisse, indem eine große Zahl der verschiedenen halben Töne, Cis und Des, Dis und Es, Fis und Ges, Gis und As, Ais und B zusammenfallen. Freilich kann bei einem längeren Bewegen der Musik in Terzen oder Quinten eine Dissonanz eintreten, aber immer werden sich Tonverhältnisse finden lassen, in deren Verbindung die Dissonanz angenehm berührt, durch die sie aufgelöst wird. Solche aufgelöste Dissonanzen in der Musik gleichen einer Figur, deren Theile, einzeln regellos und unsymmetrisch, sich im Ganzen zur harmonischen Schönheitsform gestalten.

Wie alle wahre Kunst, so ist auch die Tonkunst keine zufällig in dem Hirn eines Menschen ausgebrütete Entdeckung; sie ist in der Natur begründet, und ihre Gesetze fließen mit unabänderlicher Nothwendigkeit aus der Natur. So lange es Musik giebt, und wo sie ertönt, ist das Bedürfniß des Ohres das gleiche. Unser Ohr ist dem, was uns umtönt, so entsprechend gesaitet, daß es nicht anders tönen darf, wenn es angenehm tönen soll. Eine naturgemäße Tonleiter und die vierstimmige Harmonie sind die einfachen, überall gleichen Ansprüche des menschlichen Ohres. Bedürfte es noch eines Beweises, so giebt ihn die Natur selbst; die schwingende Saite läßt unaufgefordert mit dem Grundton zugleich jene Töne

klingen, die wir als Quinte, Octave und große Terz bezeichneten und im Duraccord zusammenfaßten. Während eine Saite nämlich als Ganzes Schwingungen macht, theilt sie sich zugleich in gleich große Theile, die durch Schwingungsknoten geschieden sind. Diese Knotenpunkte lassen sich durch feine Papierstreifen nachweisen, die man an den entsprechenden Stellen über die Saite hängt, und die beim Tönen der Saite in Ruhe bleiben. Die schwingenden Theile der Saite schwingen nun mit den ihrer Länge entsprechenden Geschwindigkeiten und erzeugen dadurch jene höheren consonirenden Töne, die freilich schwächer als der Grundton, aber doch hörbar sind und hörbarer gemacht werden können, wenn man einen zu solchen mitklingenden Tönen gehörenden Schwingungsknoten leicht berührt und dadurch den entsprechenden Theil der Saite verhindert an den andern Schwingungen Theil zu nehmen, so daß also nur eine Schwingungsart übrig bleibt. Der liebliche Klang der vom Winde gespielten Aeolsharfe, deren Saiten doch unter einander völlig gleich gestimmt sind, beruht allein auf diesem Mitklingen der Neben- oder Flageolettöne. Wir vernehmen aber auch dieses Mittönen am Pianoforte, wo der vierfache Klang der einen angeschlagenen Saite durch die andern von der Vibration mit ergriffenen Saiten unterstützt wird. Ist es nun aber der befriedigende Schluß unsrer Durtonstücke, der Durdreiklang, welchen uns die Natur so unaufgefordert, wenn wir ihr nur einen Ton bieten, zurückgiebt, so können wir nicht länger an der wunderbaren Uebereinstimmung zweifeln, welche zwischen einem

durch das Ohr vermittelten Bedürfnisse unsrer Seele und der tönenden Eigenthümlichkeit ihr so durchaus fremdartiger Körper besteht.

Bei einer solchen Naturbestimmtheit der musikalischen Grundgesetze sollten wir meinen, daß es nie eine andre Musik gegeben haben könne, als unsre heutige. Dennoch giebt es Manches, was eine solche Zuversicht wankend zu machen geeignet ist. Ein Naturgesetz bleibt unabänderlich, sollten wir meinen, und wenn es auch erst erkannt werden muß, so bleibt doch ein Verstoß dagegen immer ein Verstoß, der von dem nach demselben Naturgesetz gebauten Sinnesorgan als solcher empfunden werden muß. So gut wie eine Saite nur von einer gleichgestimmten zum Mittönen erweckt wird, kann auch der musikalische Sinn des Menschen nur durch gleichstimmige Tonschwingungen zum freien Selbstgenuß sich erheben. Aber es giebt freilich einen Umstand, der unabhängig von diesem Naturgesetze, gleichsam nur in dem Baue des Sinnesorgans und in der Stimmung der Nerven begründet, wesentliche Umwandlungen in der Musik bewirken kann. Die ganze Tonkunst besteht in einer Anwendung gewisser naturgemäßer Verhältnisse. Aber diesen Verhältnissen muß eine Einheit zu Grunde liegen, d. h. unter allen den Tönen, in welchen die Musik sich bewegt, und die nur durch Intervalle, durch Verhältnisse zu einander in Beziehung stehen, muß einer durch die Zahl seiner Schwingungen fest bestimmt sein. Wir wissen nun, daß die Reihe der Töne, für welche unser Ohr empfänglich zu sein pflegt, sich zwischen 16 und 2400 Schwingungen

in der Secunde bewegt. Es ist offenbar, daß wenn die Empfindlichkeit unsres Ohres nach der einen oder andern Richtung hin, d. h. für höhere oder tiefere Töne, sich ändert, sich auch der als Einheit angenommene Ton ändern, etwas höher oder tiefer werden muß. Aber auch eine Umkehrung dieses Schlusses wird uns gestattet sein. Veränderte Tonstimmung setzt eine veränderte Empfindlichkeit des Gehörs voraus. Was wir aber von der Musik der Alten wissen, deutet unzweifelhaft darauf hin, daß ihre Stimmung viel höher war als die unsrer heutigen Musik. Unsre Orgel hat bis heute diese höhere Stimmung behauptet. Der Chorton der Orgel ist fast um einen ganzen Ton höher als der Kammerton der weltlichen Musik. Aber lieferte uns auch die Geschichte für solche Aenderungen keine Beweise, so hätten wir sie in der Gegenwart. Auch unsre heutigen gebildetsten Völker haben nicht den gleichen Kammerton. Das a der 3. Octave, das man als Kammerton zu bezeichnen pflegt, wird in der Berliner Oper durch 437, in der großen Oper zu Paris durch 431, in der italienischen Oper durch 424 Schwingungen hervorgebracht. So unbedeutend auch solche Abweichungen erscheinen mögen, so haben sie doch immer einen Einfluß auf die Höhe und Tiefe der ganzen Musik und deuten unverkennbar auf Abweichungen in dem Gehör, noch mehr aber auf eine veränderte Stimmung des menschlichen Tonorgans, der Grundlage aller Musik, hin. Solche Abweichungen sind aber durchaus erklärlich. Mit dem Menschen ändert sich sein Organ, und der Mensch ändert sich mit Klima und

Lebensart. Es ist eine jedenfalls eigenthümliche, wenn auch nicht wunderbare Beobachtung, daß, wie das männliche Stimm- und Hörorgan tiefer gestimmt ist, als das weibliche, so auch die Musik der nördlichen Völker tiefer als die der südlichen gestimmt zu sein pflegt, ja daß auch die Verfeinerung der Bildung eine ganz ähnliche Herabstimmung der Musik zur Folge gehabt zu haben scheint.

Läßt aber diese Stimmung das natürliche Gesetz der Musik unberührt, so giebt es Thatsachen, welche fast voraussetzen lassen, daß auch dies zu andern Zeiten ein andres gewesen sei. Die gebildeten Griechen, die in andern Künsten eine so hohe, fast unerreichbare Stellung einnehmen, scheinen entweder in der Musik ganz roh gewesen oder ein ganz andres Klangbedürfniß, ein ganz andres Maß gleichsam bei der Auffassung von Intervallen gehabt zu haben als wir.

Allerdings besaßen die Griechen eine diatonische Tonleiter, die mit der unsrigen nahe übereinstimmte, allerdings kannten sie die Octave, Quinte und Quarte, aber die harmonische Bedeutung des Dreiklangs war ihnen unbekannt, und Terz und Sexte galten ihnen darum als dissonirende Intervalle. Darum besaßen sie auch keinen mehrstimmigen Gesang, und bei ihrer Instrumentalmusik konnten die Stimmen höchstens in der Quinte oder Quarte aus einander gehen, um sich im Unisono oder in der Octave wieder zu vereinigen, eine Harmonie, die unserm Ohre keine Befriedigung zu gewähren vermöchte. Aber sie besaßen sogar ein für uns völlig un-

begreifliches Klanggeschlecht, das theilweise in Vierteltönen fortschritt. Freilich berichten uns schon griechische Schriftsteller, daß diese Musik auch dem griechischen Ohre keineswegs immer ganz angenehm klang, daß sie als eine unnatürliche und künstliche galt, die von den Wenigsten ausgeführt werden konnte. Wenn aber dem griechischen Ohre nur fremdartig klang, was uns unerträglich sein würde, so zeigt das nur, wie jede Kunst erst erlernt und entwickelt, jeder Sinn erst erzogen und geübt werden muß, und daß die Griechen in dieser Kunst der Stufe der Rohheit noch sehr nahe standen. Verwundern aber kann es uns nicht mehr, daß die Tonkunst sich so langsam entwickelt hat, daß das Naturgesetz der Harmonie erst so spät erkannt und so wenig durch den natürlichen Geschmack ersetzt wurde, wenn wir hören, in welchen Fesseln sie Jahrtausende hindurch schmachtete. Wenn man durch gesetzliche Bestimmungen das Unvollkommene und Unrichtige zur unwandelbaren Wahrheit stempelte, wenn man, wie in Athen und Sparta, Aenderungen in der Musik, Vermischungen ihrer Tonarten, selbst den Gebrauch der rechten Hand beim Saitenspiel durch Gesetze verbot und mit Strafen belegte, wenn man, wie Pabst Johann XXII., Verordnungen erließ, welche jeden Fortschritt zur Naturwahrheit als Ausartung, jede Erweiterung der unerträglich ärmlichen und unbeholfenen Harmonie als Luxus bezeichnete, so daß es nur an hohen Festtagen zuweilen gestattet war, Wohlklänge, wie eine Octave, Quinte, Quarte oder ein ähnliches mit der Melodie übereinstimmendes Tonverhältniß zu hören; da frei=

lich konnte der Genius der Kunst seine Flügel nicht entfalten, da sangen vergeblich die Vögel ihre harmonischen Lieder, da flüsterte vergeblich die Natur in der mitklingenden Saite die Gesetze ihres Dreiklangs. Erst als die Kunst von diesen Fesseln ganz frei geworden war, konnte sie sich zur heutigen Stufe ihrer Vollkommenheit emporarbeiten. Erst mit dem 14. Jahrh. traten die 12 Töne der chromatischen Tonleiter in ihr volles Recht ein. Jahrtausende hindurch mußten die Stimmen der Kunst tönen, bis sie ihre jetzige Reinheit gewannen, bis das geheimnißvolle Echo der mitklingenden Töne zur mächtigen Tonfülle unsrer Harmonien wurde, bis von den Schwingen des Genius getragen unsterbliche Geister die unversiegbaren Quellen der Natur eröffneten, aus denen ein Zauber quillt, der noch heute die Rohheit besänftigt und den Nächten des Kummers Tröstungen der Liebe entsteigen läßt.

Naturgesetze stehen niemals vereinzelt. Die ganze Natur ist, wie Oersted so schön nachgewiesen hat, ein einiges Vernunftreich. Die Gesetze des Denkens sind keine andern als die Gesetze der Natur. Auch die Harmonie gilt nicht allein in dem Reiche der Töne, ihre Verhältnisse herrschen, so weit das Schöne reicht, das Schöne der Bewegung, wie der starrgewordenen Bewegung, der Form. Nach demselben Gesetze, nach welchem sich die Harmonie der Töne gestaltet, entfaltet die Pflanze ihre Blätter, gliedert sich der Organismus des Menschen. Dieselben Verhältnisse, welche die beiden Tongeschlechter scheiden, begründen vielleicht auch den Unterschied zwischen

männlicher und weiblicher Form, und was das unmittelbare Gefühl nur dunkel herausempfunden hat, der männliche Charakter der Durtonarten und der weibliche der Molltonarten, ist vielleicht in der That die Ahnung eines innern Naturzusammenhangs.

Nicht im Vogelsange und im Klange künstlicher Instrumente allein, überall, so weit die Natur eine Seele hat, sie in Harmonien strömen zu lassen, lebt Musik. Die schöne Phantasie der Griechen gab auch den Bäumen ihre Seelen, die Dryaden. Und wenn wir dem Rauschen des Windes, diesem ewigen Aeolsharfenconcert der Natur, lauschen, hören wir da nicht noch immer den bald klagenden, bald lockenden Sang der Dryaden? Tönen nicht deutlich aus dem wilden Chaos des Sturmes die einzelnen Stimmen der Bäume hervor, je nach ihrem innern Bau oder der Art ihrer Belaubung, je nach der Stärke und Richtung, in welcher der Wind in ihre mächtigen Saiten greift, das Gebrüll der Eiche, das Gekreisch der Buche, der Ulme lange, tiefgezogene Seufzer, zwischen denen die Esche in leidenschaftlicher Angst ihre Tremulo's hindurchzittert? Selbst der kalte Stein, selbst das harte Metall hat eine musikalische Seele. Eine dreikantige erhitzte Eisenstange mit der einen etwas rinnenförmig ausgehöhlten Kante auf ein abgerundetes Stück Blei gelegt, beginnt sofort in den reinsten Tönen laut zu werden. Nichts als der Drang sich mitzutheilen, seine eigne Wärme mit der seiner Unterlage auszugleichen, entlockt dem Eisen die Töne. Durch die empfangene Wärme erhebt sich das Blei an der Berührungs-

stelle zu einem kleinen Hügel, und indem sich dadurch die Eisenstange nach der einen Seite senkt, empfängt sie dort neue Wärme, erhebt sich zu einem neuen Hügel und treibt die Eisenstange wieder in ihre frühere Lage zurück. In diesem steten Hin- und Herschwanken erzeugt sich der Ton des Eisens, der durch verschiedene Hitzegrade und verschiedenen Druck bald in höhere bald in tiefere Octaven hinübergespielt werden kann. Jedes Metall, jeder Stein wird in dieser Weise in eigenthümlichen Tönen laut, denn jeder Stein und jedes Metall hat seine eigne Seele.

Es klingt poetisch, wenn wir so von musikalischen Seelen der Körper sprechen, und doch schien der Ausgang unsrer Betrachtung ein so prosaischer. Nur Bewegungen waren es, auf denen das Wesen aller Töne beruhte, Schwingungen, deren Dauer und Zahl sich messen und berechnen ließ. Nur Verhältnisse waren es, welche Höhe und Tiefe der Töne bedingten, Verhältnisse, die freilich nicht bloß ihren Grund in dem Bau unsres Ohres, in der Empfindlichkeit unsrer Nerven, sondern in einem allgemeinen ewigen Vernunft- und Naturgesetz haben. Diese Verhältnisse bleiben unverändert, ob der Ton aus menschlicher Kehle oder aus der schwingenden Saite dringt, oder ob ihn der rauhe Sturm im schwankenden Baume anschlägt. Der Ton bleibt derselbe, so lange dieselbe Zahl von Schwingungen in derselben Zeit unser Ohr berührt. Derselbe Ton wird freilich ein andrer, wenn durch irgend einen Umstand das Ohr diese Schwin-

gungen schneller oder langsamer empfängt, als sie in Wirklichkeit auf einander folgen.

Wenn ein Musikchor an uns vorüberzieht und seine Klänge allmälig in der Ferne verschwimmen, daß nur noch einzelne kräftige Töne unser Ohr erreichen, so ist es doch dieselbe ungestörte Harmonie, die trotz der veränderten Entfernung von uns vernommen wird. Die Harmonie beruht auf Verhältnissen, und diese Verhältnisse sind ungestört, weil die Fortpflanzungsgeschwindigkeit für alle die verschiedenen Töne die völlig gleiche ist. Die Musik kam eben als ein Ganzes in unser Ohr. Aber dieses Ganze ist dennoch ein wirklich andres geworden. Nicht die Harmonie, aber die Höhe und Tiefe der Töne ist verändert. Denn die Höhe und Tiefe der Töne hängt allein von der Zahl der Eindrücke ab, welche unser Ohr in gleicher Zeit empfängt. Offenbar aber müssen diese Eindrücke schneller auf einander folgen, wenn das Ohr sich der Tonquelle oder der tönende Körper dem Ohre nähert, als wenn beide ruhen, und offenbar muß die Aufeinanderfolge dieser Eindrücke ebenso verzögert werden, wenn Ohr und Tonquelle sich von einander entfernen. So muß also der Ton höher oder tiefer werden, je nach der Art der Bewegung. Der aufmerksame Beobachter hätte sich von dieser Thatsache längst überzeugen können. Wenn auf einer schnell vorüberfliegenden Locomotive die Signalpfeife ertönt, so wird man deutlich vernehmen, wie der Ton beim Vorbeifahren plötzlich tiefer wird. Bei der jetzt ganz gewöhnlichen Schnelligkeit der Locomotive von 50 Fuß in der Secunde beträgt

diese Vertiefung einen halben Ton, so daß ein Ton A in B übergeht, während er bei der Annäherung der Locomotive um einen halben Ton höher als As gehört wurde. Bewegen wir uns selbst auf einem Dampfwagenzuge, dem ein andrer entgegenkommt, so würde der Ton der Pfeife sogar um einen ganzen Ton nach oben und unten verändert werden, so daß der Ton A bei der Annäherung als G, bei der Entfernung als H gehört würde.

Diese Abhängigkeit des Tones von der Zahl der Eindrücke, die unser Ohr in gleicher Zeit erhält, ist eine so bestimmte, daß wir selbst Töne vernehmen, wo kein Instrument sie unmittelbar erzeugt, wo sie gleichsam in der Luft entstehen, in welcher durch Kreuzung von Wellen neue Wellen gebildet werden, die in hinreichend schneller Aufeinanderfolge durchaus den Eindruck von Tönen machen. Wir müssen uns erinnern, daß beim Zusammenklingen zweier wenig verschiedener Töne stets eine Kreuzung von Wellen bewirkt wurde, die sich in abwechselnden Verstärkungen und Schwächungen, in einem An- und Abschwellen des Tones, in sogenannten Stößen bemerklich machte. Die Zahl dieser Stöße entspricht genau dem Unterschiede dieser Schwingungszahlen. Dadurch gewähren sie eine außerordentliche Hülfe beim Stimmen eines Klaviers oder einer Orgel. Wo Gehör und Uebung selten ganz ausreichen möchten, da läßt die Zahl der Stöße, welche eine angeschlagene Saite unter dem Mitklingen einer Stimmgabel in einer Minute giebt, genau die Schwingungszahl der zu stimmenden Saite messen. Aber diese Stöße, die Schwellungen der Töne gehen auch in wirkliche, selbständige

Töne über, sobald sie in hinreichender Anzahl erfolgen, sobald die Wellenbreiten der beiden Töne also in solchem Verhältniß verschieden sind, daß die Anzahl der in einer Secunde erfolgenden Stöße der Schwingungszahl eines Tones gleichkommt. Das sind die Combinationstöne oder Tartinischen Töne, die man sich sehr leicht durch anhaltendes Streichen zweier Violinsaiten erzeugen kann. Sie sind tiefer als die erzeugenden Töne, und ihre Schwingungszahlen entsprechen dem Unterschiede der Schwingungszahlen von diesen. Diese Combinationstöne können wieder mit den ursprünglichen Tönen neue Combinationstöne bilden, die freilich, immer tiefer und schwächer werdend, zuletzt vom Ohre nicht mehr vernommen werden.

Wenn es also völlig gleichgültig erscheint, auf welche Weise Töne hervorgebracht werden, wenn es feststeht, daß derselbe Ton, daß das C der Violine genau eben so viele Schwingungen macht als das C der Flöte oder das C der Orgel, so erscheint es um so wunderbarer, daß wir dennoch diese scheinbar gleichen Töne so verschieden empfinden. Aber die Höhe und Tiefe ist es nicht allein, welche die Art der Tonempfindung und ihre Wirkung bedingt. Nicht die Zahl allein, auch das Wesen der Dinge hat eine Geltung im Reiche der Töne. Außer der Geschwindigkeit und Länge der Schwingungen wirkt wohl auch ihre eigenthümliche Beschaffenheit mit; vor allem aber ist es die Natur des Körpers selbst, sein innerer Bau, seine Stofflichkeit, die im Klange laut wird. Wir sprachen von einer musikalischen Seele der Dinge, und es ist in der That, als ob das Bild Wirk-

lichkeit werden sollte, als ob jeder Körper wirklich seine eigne Seele, und jede Seele ihre eigne Sprache habe. Diese Seelensprache der körperlichen Dinge ist der Klang. Auf der Klangverschiedenheit allein beruht die große Mannigfaltigkeit unsrer musikalischen Instrumente.

Wenn der mächtige Klang der Orgel das Innerste unsrer Seele erschüttert und wie ein Sturm die versteckten Feinde aus den Winkeln des Herzens fegt, wenn die langgezogenen Klänge der Violine mit aller Schärfe in unser Herz einschneiden, daß vergebens der verhärtete Stolz gegen die Thräne kämpft, die sich zwischen die Wimpern drängt; wenn die sanften, bald klagenden, bald schmeichelnden Klänge der Flöte ihr beruhigendes Oel in das sturmbewegte Meer der Leidenschaften ausgießen; und wenn alle diese bunten Klänge durch den Zauber der Kunst sich unter dem einen Gesetz der Harmonie vereinigen, das die Natur dem Menschen selbst enthüllte: welch eine Mannigfaltigkeit und welche Einheit! Welche Gewalt liegt in diesen tönenden Seelen scheinbar todter Körper, die doch nichts als die Sprache unsres eignen Herzens sprechen! Schwebend über der Harmonie, bald von ihr fortgerissen, bald sich sträubend, gestaltet die Melodie sich zum schmiegsamen Leib des Ganzen: ein treues Bild des Menschen im Kampf mit den Mächten des Lebens. Und wie die Schicksale des Menschen nicht der Zufall, sondern ein Gesetz beherrscht, oft verborgen, oft mit Händen greifbar, so herrscht über die Schicksale der Melodie der Takt, bald zusammenfallend mit ihren Entwicklungsphasen, bald übertäubt von ihrem lebendigen

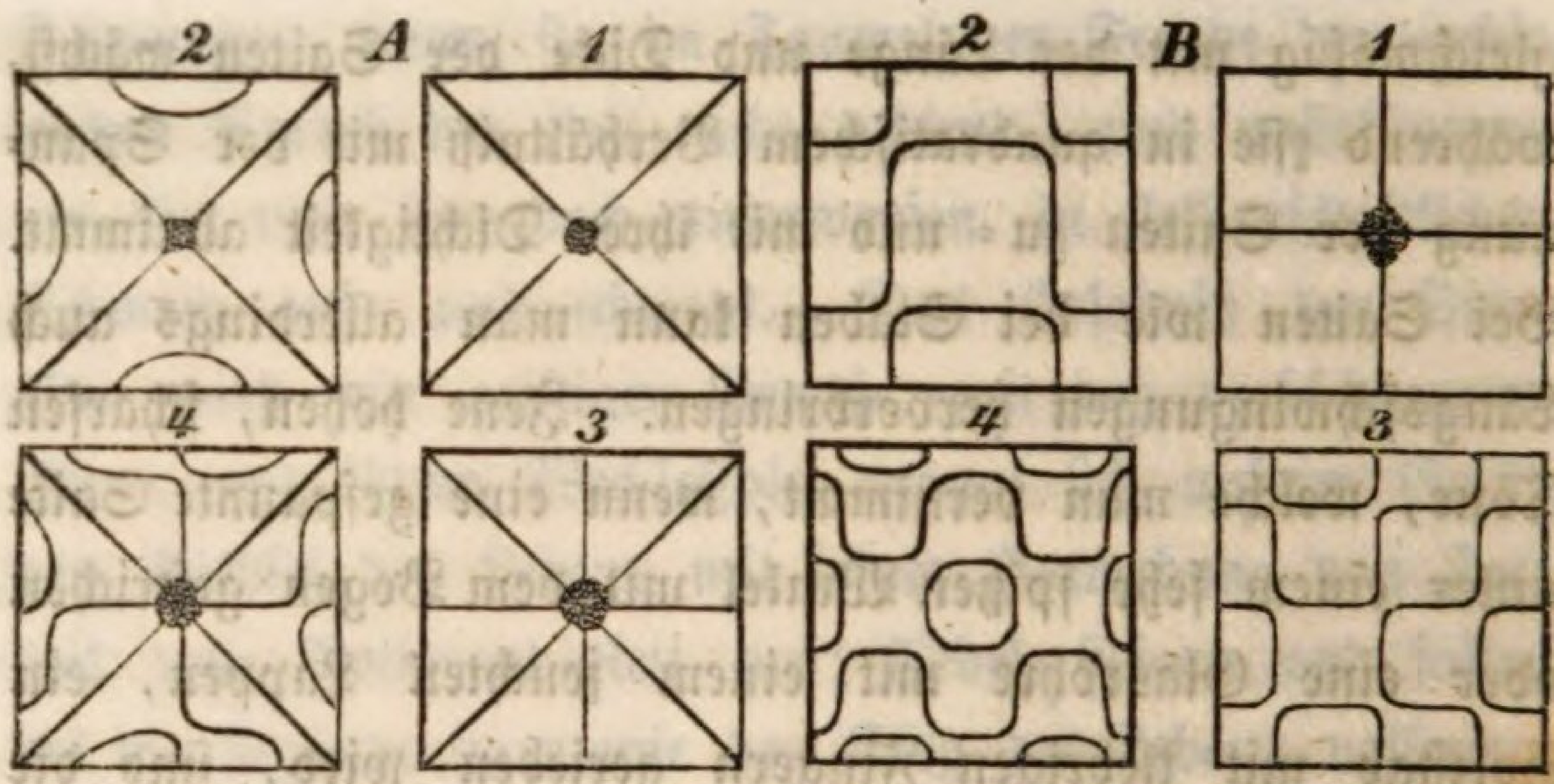
Schwunge, wenn sie im Taumel der Freude den gebietenden Spruch der Zeit nicht achtend, und unbekümmert um ihn und ihm doch unterworfen in leidenschaftlichem Schmerz auf- und abwogt. Das Erlebniß der Sinne aber wird ein geistiger Genuß; mit den verschlungenen Tönen und ihrem Wechselspiel drängt sich unserm Gefühl das Räthsel des Lebens mit seiner Verwebung von Freiheit und Nothwendigkeit auf; Nebel steigen und fallen, bis die siegende Harmonie den Sieg des Lebens vollendet.

Diese Kunst, welche den Stoffen Seelen gab und ihre Harmonie zu wecken weiß, wenn die eigne des Herzens gestört ist, diese Kunst mag so alt sein als die Kultur des Menschen überhaupt. Sie besteht einfach darin, im Innern der Stoffe gewisse gleichmäßige, gemessene Schwingungen zu erregen, die sich durch ihre Umgebung dem Ohre mittheilen. Mag man die Saiten der Cither schlagen oder die Saiten der Violine mit dem Bogen streichen, mag man die gespannten Häute eines Tamburins oder einer Trommel, die Metallstäbe des Triangels oder die Rundung einer Glocke durch den Schlag erschüttern, mag man den eignen Odem durch die elastischen Wände seines Stimmorgans oder durch metallne oder hölzerne Röhren blasen, oder mag man mit Blasebälgen gewaltige Luftmassen durch Orgelpfeifen treiben, immer sind es Schwingungen, Wellen, bald zarte, bald gewaltige, bald in der Luft, bald in festen Massen, welche als Töne in unser Ohr fließen.

Wenn man Saiten streicht oder elastische Stäbe schlägt, so erzeugen sich Querschwingungen, deren Anzahl

gleichmäßig mit der Länge und Dicke der Saiten wächst, während sie in quadratischem Verhältniß mit der Spannung der Saiten zu- und mit ihrer Dichtigkeit abnimmt. Bei Saiten wie bei Stäben kann man allerdings auch Längsschwingungen hervorbringen. Jene hohen, scharfen Töne, welche man vernimmt, wenn eine gespannte Saite unter einem sehr spitzen Winkel mit dem Bogen gestrichen oder eine Glasröhre mit einem feuchten Lappen, ein Holzstab mit klebrigen Fingern gerieben wird, sind die Wirkungen solcher Längsschwingungen. Die markdurchdringende Schärfe dieser Töne eignet sie freilich nicht für den edlen Dienst der Musik.

Ganz eigenthümlicher Art sind die Schwingungen, auf welchen die Töne elastischer Platten beruhen. Die Platten zerlegen sich in mehrere schwingende Flächen, die durch Ruhelinien von einander getrennt sind. Man kann diese Ruhelinien dadurch sichtbar machen, daß man Sand auf die tönende Platte wirft, der dann von den schwingenden Flächen fortgeschleudert wird und auf der Oberfläche der Platte hingleitend sich endlich in den Ruhelinien ansammelt. Dadurch erzeugen sich jene berühmten Klangfiguren, welche Chladni zuerst wahrnahm. Ihre Lage und Form ist natürlich abhängig theils von der Unterstützung der Platte, theils von der Lage des Punktes, an welchem sie durch das Streichen eines Violinbogens erschüttert wird, theils endlich von der Höhe der Töne. Fig. A zeigt die Klangfiguren einer Platte, die in ihren Winkeln unterstützt und an ihren Saiten gestrichen wird, während die Klangfiguren in B durch Unter-



stützung der Saiten und Streichen an den Ecken erzeugt werden. In je mehr Theile sich eine Platte durch die Schwingungen zerlegt, und je näher die Schwerpunkte der dem Rande zunächst liegenden schwingenden Flächen an den Rand gerückt sind, desto höher ist der Ton der Platte. Jede Klangfigur steht in einem bestimmten Tonverhältniß zu den übrigen, und wenn auch ein Gesetz über den Zusammenhang zwischen Klangfigur und Tonhöhe noch nicht aufgefunden ist, so muß doch die Anordnung der Ruhe- oder Knotenlinien stets eine symmetrische sein, und nie kann ein reiner Ton hervorgebracht werden, dem nicht auch eine wohlgeordnete Klangfigur entspricht. So nahe sind hier wieder Naturwirkungen mit einander verknüpft, Schönheit der Form und Schönheit des Klanges! Dieselbe Wirkung, die den einen Sinn befriedigt, befriedigt aber auch den andern!

Wenn uns aber tönende Platten ihre Schwingungen in symmetrischen Figuren sichtbar machen, wenn wir selbst die Schwingungen der Saiten noch mit dem Auge verfolgen können, der Hauch des Mundes, der die

tönenden Röhren durchströmt, verräth die Schwingungen, die er erzeugt, äußerlich nicht mehr. Die Wände, zwischen denen der Ton hervordringt, bleiben unerschüttert, nur die Luft ist es, die schwingt und klingt. Die Erfindung der Blaseinstrumente war jedenfalls die Vollendung der musikalischen Kunst. In die tönende Röhre strömt die Seele unmittelbar ein. Stärke und Dauer des Tones liegen in ihrer Gewalt und können nach der Empfindung abgemessen werden. Der Klang der Saiteninstrumente ist nur unmittelbar beim Anschlage das, was er sein soll, und erst durch seine Mischung mit jenen Klängen erhält er seinen eigenthümlichen Reiz. Das wird recht bezeichnend durch den altgriechischen Mythus vom Wettstreit des Marsyas und Apollo ausgedrückt. Marsyas hatte durch sein Flötenspiel den die Cither spielenden Apollo besiegt. Aber im zweiten Wettkampf erlangte Apollo dadurch den Preis, daß er zur Cither sang.

Unter allen bekannten Körpern besitzt die Luft die größte Elasticität, erfüllt also am vollkommensten die erste aller Bedingungen zur Tonerzeugung. Ist es daher möglich, eine etwa von einer Röhre umschlossene Luftsäule in solche Schwingungen zu versetzen, so ist damit ein musikalisches Instrument gegeben, das durchaus unabhängig von allen jenen Unvollkommenheiten des Materials der Röhre ist, da dieses an den tönenden Schwingungen keinen Theil hat. Eine solche Luftsäule muß genau nach denselben Gesetzen schwingen wie die tönende Saite, wenn auch ihre Schwingungen andrer Art, Längsschwingungen,

d. h. wechselnde Verdichtungen und Verdünnungen sind. Die Höhe ihrer Töne muß genau wie dort in einem bestimmten Verhältniß zur Länge der schwingenden Luftsäule stehen, da die Höhe des Tones ja nur durch die Zahl der Eindrücke bestimmt wird, welche in gleicher Zeit in unser Ohr gelangen. Die Erfahrung, daß die verschiedene Länge der Luftsäule die Höhe des Tones verändere, — die Grundlage aller unsrer Blasinstrumente — mußte zunächst natürlich an einzelnen Rohrpfeifen gemacht werden, die, je nachdem sie länger oder kürzer geschnitten wurden, tiefer oder höher klangen. So wird die Erfindung der Panpfeife, wie sie uns die griechische Sage erzählt, noch heute, in jedem Frühling von der spielenden Jugend wiederholt. Wer aber vermöchte in diesem dürftigen, unbeholfenen Instrumente, wie es die Kinder sich zusammensetzen, oder wie es noch bisweilen von umherziehenden Bettlern auf der Straße gespielt wird, das Urbild einer der bedeutendsten Erfindungen der Tonkunst, unserer herrlichen Orgel zu erkennen!

Bei der Einfachheit der Bedingungen für die Tonerzeugung in Pfeifen scheint es für den ersten Augenblick unbegreiflich, wie hier eine Mannigfaltigkeit musikalischer Töne erzielt werden kann. Der schmale Luftstrom, durch dessen Einblasen wir die schwingenden Bewegungen der eingeschlossenen Luftsäule anregen, sei es bei Orgelpfeifen oder künstlich gearbeiteten Flöten und Hörnern, oder bei jenen kleinen Pfeifen, die der Knabe sich zum Spiel aus Weidenrinde schneidet, oder gar wenn wir auf dem hohlen Schlüssel blasen, kann doch immer nur,

wie der Griff in eine einzelne Saite, einen bestimmten, der Länge der Luftsäule entsprechenden Ton hervorrufen, wenn dabei nicht etwa noch andre Bedingungen ihren Einfluß üben, oder durch irgend welche Mittel die tönende Luftsäule gleich der tönenden Saite in schwingende Theile, in Schwingungsknoten zerlegt werden kann.

Das einfachste Mittel, die schwingende Luftsäule in eine Pfeife zu verlängern oder zu verkürzen und dadurch tiefere und höhere Töne zu erzeugen, besteht in Oeffnungen, die man in den Seitenwänden der Pfeife anbringt, und durch deren beliebiges Oeffnen oder Schließen man den Schwingungen willkürlich Grenzen setzt. Ein andres Mittel ist die Verlängerung des Rohres selbst durch Ausziehen eines Einsatzrohres, wie es bei der Posaune üblich ist. Wenn wir überdies bedenken, daß sich eine schwingende Luftsäule genau wie ein schwingender Stab verhält, so versteht es sich von selbst, daß eine Einrichtung, welche der Einklemmung des Stabes an einem Ende entspräche, auch genau dieselbe Wirkung d. h. eine Verminderung der Schwingungszahl auf die Hälfte, eine Herabstimmung des Tones um eine Octave zur Folge haben muß. Ein frei chwingender Stab bildet seinen Schwingungsknoten in der Mitte, während die Befestigung des Endes den Schwingungsknoten an dieses Ende rückt. Was beim Stabe aber durch Einklemmung, wird bei der Pfeife durch Schließung ihrer untern Oeffnung erreicht. Eine gedeckte d. h. geschlossene Pfeife giebt einen um eine Octave tieferen Ton als eine offene Pfeife von gleicher Länge. Daraus folgt aber wieder, daß auch theilweise

Deckungen beliebige Erhöhungen und Vertiefungen des Tones bewirken können, und daß schon die bloße Erweiterung einer offenen Pfeife gegen das Ende hin einen höheren Ton, die Verengerung dagegen einen tieferen Ton ergeben muß, als er der Pfeife mit parallelen Wänden für dieselbe Länge zukommt.

Aber das wichtigste Geheimniß der Tonveränderung in derselben Pfeife beruht auf dem Einfluß des Mundloches und der Stärke des Anblasens auf die Höhe und Tiefe der Töne. Die Stärke des Anblasens ist es, welches die Schwingungsknoten in der Luftsäule hervorruft und deren Zahl bestimmt, und die Gesetze, nach welchen diese Schwingungsknoten sich bilden, sind wieder dieselben, welche wir in der Harmonie der Saiten kennen lernten. Eine offne Pfeife, welche bei schwachem Abblasen den Grundton giebt, läßt bei verstärktem Blasen nach einander die Octave, dann die Quinte der Octave, die doppelte Octave u. s. w. hören, Töne, deren Schwingungszahlen sich wie 1..2..3..4 u. s. w. verhalten, der Zahl der gebildeten Schwingungsknoten entsprechend. Bei der gedeckten Pfeife erzeugt das verstärkte Blasen zuerst die Quinte der Octave des Grundtons, dann die Terz der doppelten Octave u. s. w., Töne deren Schwingungszahlen den Zahlen 1:3:5... entsprechen. So wird es begreiflich, wie selbst ohne Hülfe von Seitenöffnungen, wie also bei Hörnern und Trompeten, nur durch die stärkere Spannung der Lippen und schnelleres Blasen eine Mannigfaltigkeit in Tönen hervorgebracht werden kann.

Nicht immer werden die Schwingungen der einge-

schlossenen Luftsäule in Pfeifen unmittelbar durch den eingeblasenen Luftstrom hervorgerufen, sondern bisweilen erst durch die Schwingungen eines elastischen Blättchens, einer Zunge, vermittelt. Bei solchen Zungenpfeifen, wie wir sie schon von unsern blechernen Kindertrompeten her kennen, wie sie vollendeter aber die Klarinette, Hoboe, Fagott und die Schnarrwerke der Orgeln uns zeigen, ist die Höhe und Tiefe des Tones hauptsächlich durch die Schwingungen des Blättchens, durch seine Länge und seine Geschwindigkeit also, bestimmt. Die Länge der Pfeife ist nur in sofern von Einfluß, als zwischen ihr und den Schwingungen der Zunge ein gewisses Verhältniß stattfinden muß, wenn ein rein- und vollklingender Ton hervorgehen soll. Der Ton einer Zungenpfeife gehört stets einer Tonreihe an, welche die für sich schwingende Luftsäule der Pfeife erzeugen könnte, und ist zwar entweder genau derselbe oder der nächst tiefere von dem Tone, welchen die für sich schwingende Zunge giebt.

Wir haben es vorher als einen wesentlichen Charakter, vielleicht als einen Vorzug der Blaseinstrumente bezeichnet, daß ihre Töne unmittelbar aus dem Hauche des Mundes fließen und in ihm allein das Maß ihrer Kraft und Dauer finden, während der Klang des Saiteninstruments mit der ersten Schwingung der Saite der menschlichen Macht entrückt und dem allgemeinen Naturgesetz verfallen ist. Wir deuteten es als einen Vorzug der Blaseinstrumente an, daß ihre Töne unberührt und ungestört von der Mangelhaftigkeit und Ungleichheit des Materials bleiben, dessen Fehler oft kein Auge und keine

menschliche Kunst entdeckt, bis sie in schreienden Disharmonien laut werden. Wir gingen zu weit. Wir vergaßen, daß auch die Luft ein Stoff ist, der so gut wie jeder Stoff seine eigne Stimme hat; wir vergaßen, daß auch die Röhren, welche die tönenden Schwingungen umschließen, nicht todte Massen, sondern beseelte, gegen die Regungen ihrer Nähe nicht gleichgültige Stoffe sind. Jeder Musiker weiß es, daß seine Flöte nicht immer den gleichen Ton hat, daß sie nach Ort und Zeit verschiedene Stimmungen annimmt. Gleichwohl ist ihre Länge doch wesentlich unverändert, und damit die Länge der Luftsäule, welche in ihr schwingt. Aber diese Luft selbst ist eine andre geworden, ihre Bereitwilligkeit zu schwingen und die Lebendigkeit und Geschwindigkeit ihres Schwingens. Diese Geschwindigkeit der Luftschwingungen hängt nämlich ab von der Elasticität, dieser Lebensbedingung alles Tönens. Diese Elasticität bleibt unverändert in dichterer, wie dünnerer Luft, aber sie wächst in wärmerer und nimmt ab in kälterer Luft. Darum wächst auch die Geschwindigkeit der Schwingungen und damit die Tonhöhe in wärmerer Luft, und trotzdem es scheint, als ob die Ausdehnung, welche die stoffliche Hülle der Flöte in der Wärme erleidet, durch Verlängerung der Luftsäule den Ton vertiefen müßte, erklingt der Ton der Flöte höher in wärmerer Luft als in kälterer, weil die Elasticität der tönenden Luftsäule bedeutender gewachsen ist.

Aber wir hatten noch ein Andres vergessen. Wir hatten vergessen, daß auch der Stoff, aus dem diese Instrumente gearbeitet sind, kein todter Stoff ist, daß auch

er eine tönende Seele hat, die nur erregt zu werden braucht, um sich im Klange vernehmen zu lassen. Wer wüßte nicht den Ton der hölzernen Flöte von dem einer blechernen, den Klang einer silbernen Trompete von dem einer messingenen zu unterscheiden! Wer wüßte nicht, daß Flöten aus zu dickem Holze dumpf und klanglos tönen, daß allzu dünne Orgelpfeifen einen schreienden Schall geben! Der erfahrene Musiker würde hinzufügen, daß feuchte Flöten in tieferen Tönen klingen als völlig trockne. Die Wände dieser Röhren erklingen also mit der tönenden Luftsäule, die sie umschließen, sie nehmen an deren Schwingungen Theil und verschmelzen ihre Klänge mit diesen.

Diese Erscheinung steht nicht vereinzelt da. Wo nur immer ein tönender Körper Schallwellen erregt, da schreiten diese in den ihn umgebenden Körpern fort. An den Grenzen derselben treffen sie auf die zurückgeworfenen Wellen, und durch Interferenz mit diesen bilden sie stehende, d. h. tönende Schwingungen. Dieses eigenthümliche Mittönen, diese Resonanz ist so tief in der Natur der Stoffe begründet, daß sie selbst den unmusikalischen Stoffen, selbst einer Bleiplatte Töne zu entlocken vermag. Wir wissen, daß der Resonanzboden des Klaviers oder der Geige die schwachen Klänge der Saite durch ihre Schwingungen verstärkt, daß die Mauern und Pfeiler einer Kirche sogar unter dem Läuten der Glocken erzittern; aber so wunderbar mächtig wirkt diese sympathetische Kraft im Innern der Stoffe, daß selbst zwei Uhrwerke, die an denselben Metallboden befestigt und nicht allzu sehr im

Gange von einander abweichen, allmälig einen vollkommen übereinstimmenden Gang annehmen.

Darauf beruht der geheime Seelenzauber der Musik. Es ist gleichsam ein Mittönen der Seele, das sie erregt. Die Töne verwandeln sich gleichsam in Stimmungen. Der laute Jubel reißt uns fort, und der weiche Ton der Klage stimmt uns zum Mitleid.

Im Klange der Instrumente dringt die Natur der Körper, ihre Weichheit und Festigkeit, ihre Elasticität und Spannung in unsre Seele und erzeugt in uns entsprechende Stimmungen. Im Gesange ist es das innere Leben des Menschen selbst, das durch das Ohr zum Herzen strömt, ist es die laut werdende Stimmung selbst, die verwandte Stimmungen in uns erweckt. Von heftiger Erregung erzählen die hohen Töne, und Sieg verkündet ihr forte, während ihr piano die mangelnde Kraft im versuchten Kampfe verräth. Tiefe Töne machen im piano den Eindruck der Erschlaffung und Resignation, während sie im forte die freie Kraft andeuten, die im stolzen Selbstgefühl es verschmäht, sich an selbst bereiteten Widerständen zu üben.

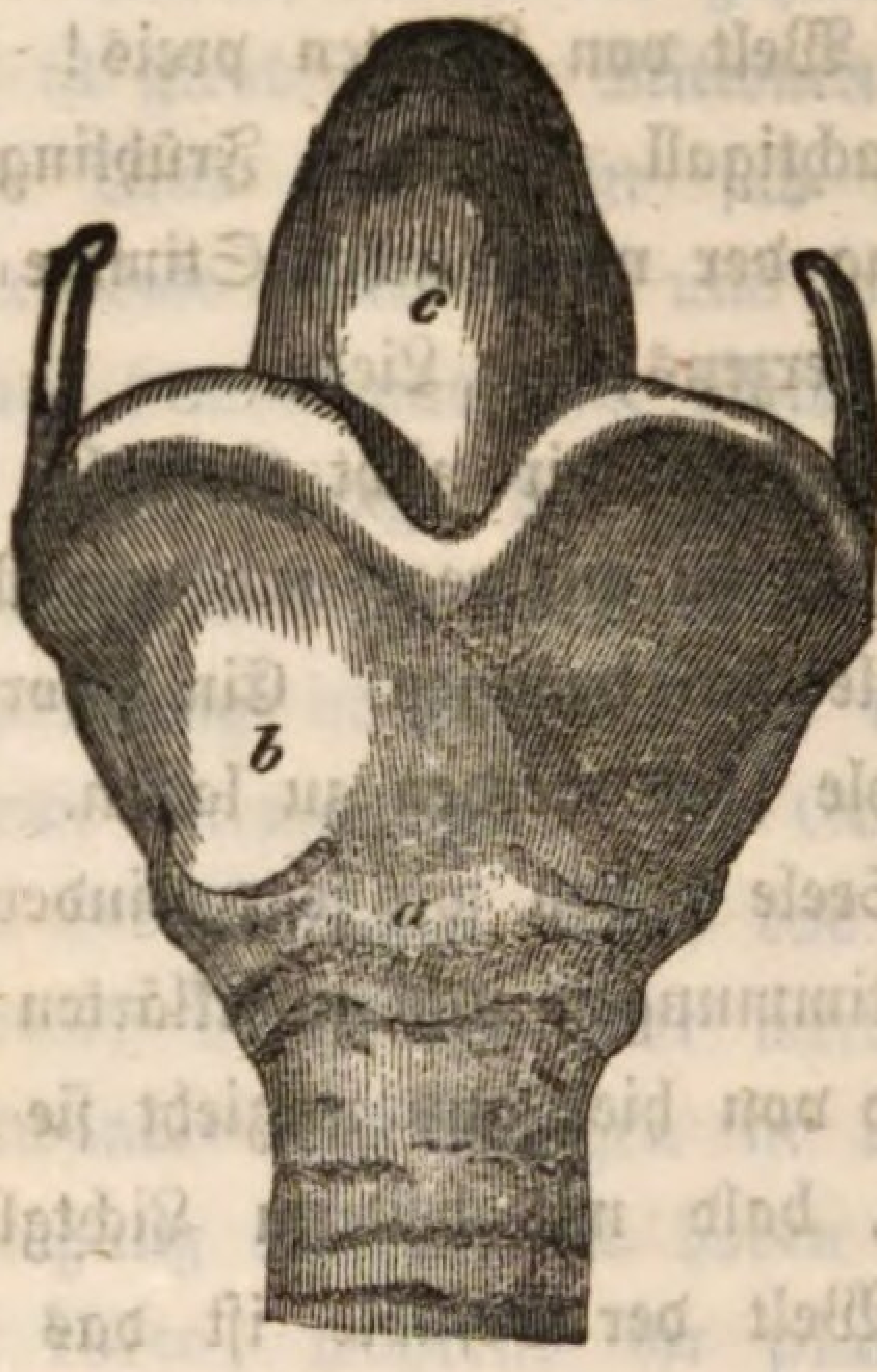
Die Musik ist eine Sprache des Menschen, mächtiger in ihren Wirkungen als die glühendste Beredsamkeit. Aber die tiefste, die seelenvollste Musik liegt in der menschlichen Stimme. Noch heute ist sie es, die den Zauber eines Orpheus übt, noch heute vermag eine Kinderstimme die wilden Bestien der Leidenschaft zn besänftigen, und die Schatten längst abgeschiedener Empfindungen aus der Unterwelt des Herzens herauf zu beschwören. Und nur im

Laute, im Klange ruht diese Macht! Was kümmern uns die Worte, die ein lieber, süßer Mund spricht! Für einen einzigen Laut aus dem Munde des Fernen oder Abgeschiedenen geben wir eine Welt von Worten preis! Der Sang der Lerche, der Nachtigall mag den Frühling der Welt verkünden; der Klang der menschlichen Stimme verkündet den Frühling des Herzens, die Liebe.

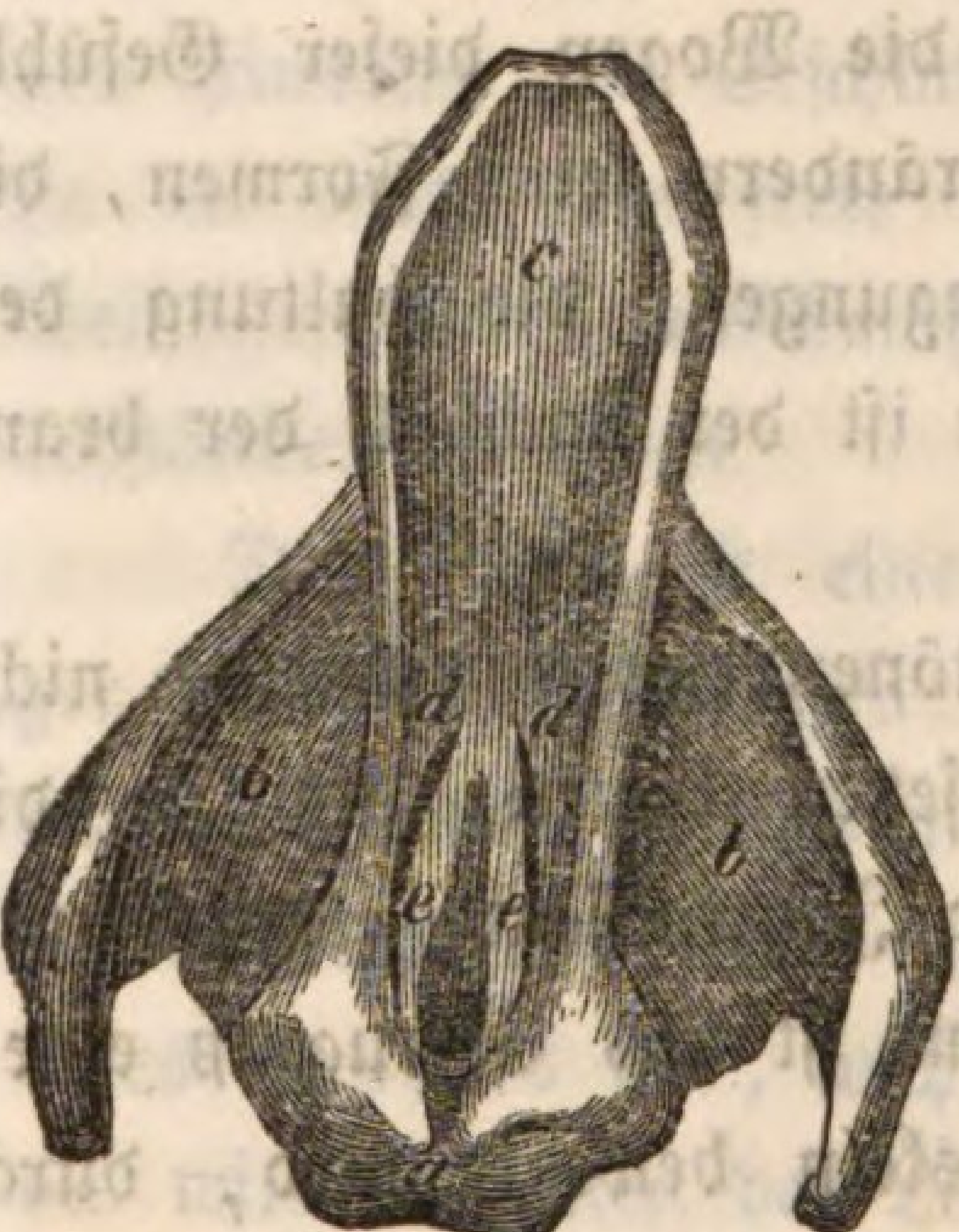
Durch die Sprache äußern wir nicht Gefühle, sondern Gedanken, welche durch sie angeregt und von ihnen getragen durch unsre Seele sich drängen. Ein Vorrecht der Kindheit ist es, Gefühle laut werden zu lassen. Tief in den Hintergrund der Seele haben wir jene Kinderwelt mit ihren unbewußten Stimmungen und unerklärten Ahnungen zurückgedrängt, und von hier aus umzieht sie noch bald mit dunkeln Wolken, bald mit heiterm Lichtglanze unsre Gedanken. Diese Welt der Gefühle ist das wogende Meer, auf dem wie segelnde Schiffe die Gedanken auf- und niedertauchen; und die Wogen dieser Gefühle schlagen an das Ufer und verändern seine Formen, die Züge des Gesichts, die Bewegungen, die Haltung des Sprechenden, und die Stimme ist der Nachhall der brandenden Wogen.

Die Natur konnte ihre tönenden Instrumente nicht nach andern Regeln und Gesetzen bauen, als sie die menschliche Kunst im Laufe der Jahrtausende entdeckt und benutzt hat. Auch die Stimme ist das Erzeugniß eines Mechanismus, der durch Muskeln bewegt wird, durch Muskeln, welche gewisse elastische Körper in Spannung versetzen, so daß sie in ihrem Rückschwunge Luftmassen

bewegen und Schwingungen erzeugen, die wie bei schwingenden Saiten zu Tönen werden, wenn ein Luftstrom zwischen ihnen hindurchstreicht.



Kehlkopf von vorn.



Kehlkopf von oben und hinten.

Gleich einem Blasebalge werden die Lungen des Menschen durch die elastische Brustwandung und die Bauchmuskeln beim Athmen bald verengt, bald erweitert und treiben so die Luft gewaltsam durch die Luftröhre und den Kehlkopf. Der Kehlkopf, dieses eigentliche musikalische Instrument des Menschen, besteht aus mehreren Knorpelstücken, dem Ringknorpel (a), dem Schildknorpel (b) und dem Gießkannenknorpel. Die sein Inneres bekleidende Schleimhaut bildet gegen seine Mitte hin zwei große Seitenfalten, die Stimmbänder (e), die von vorn nach hinten gerichtet fast den Rändern eines Knopflochs gleichen, und um so länger sind, je mehr der vordere Theil des Schildknor-

pels, der Adamsapfel, an den sie angeheftet sind, hervorspringt. Ein im Innern liegender Muskel in Verbindung mit den Gießkannenknorpeln, an die sie hinten befestigt sind, gestattet den Stimmbändern, mehr oder weniger sich anzuspannen, sich zu verlängern oder zu verkürzen und so die zwischenliegende Spalte bald zu verengern, bald zu erweitern. Ueber ihnen bildet die Schleimhaut des Kehlkopfs zwei andre ähnliche Falten, die obern oder Taschenbänder (f), und der Raum zwischen diesen vier Falten ist die Stimmritze, welche der an die Zungenwurzel geheftete Kehldeckel (d), indem er sich in schiefer Richtung hebt und senkt, beim Verschlucken der Nahrung schützt.

So lange die Luft aus den Lungen frei durch den Kehlkopf strömt, vernehmen wir keinen Ton, höchstens einen Hauch. Wenn aber die Muskeln des Kehlkopfs sich zusammenziehen, so werden die Stimmbänder gespannt und gerathen in jene wellenförmige Erzitterung, tönen, wenn die Luft an ihnen vorüberstreicht. Je stärker die Stimmbänder gespannt werden, desto höher werden die Töne, und je stärker die Luft durch die verengte Stimmritze getrieben wird, desto kräftiger klingen die Töne. Bei der Falsetstimme wird nur der innere Rand der Stimmbänder in Schwingungen versetzt, und es bedarf daher einer stärkeren Spannung der ganzen Stimmbänder, wenn derselbe Ton durch die Bruststimme angegeben werden soll.

Die Stimmbänder gleichen also genau den Saiten einer Guitarre, deren Töne gleichfalls, wie wir sehen,

durch Verkürzung oder stärkere Spannung erhöht werden können. In der ursprünglichen Länge der Stimmbänder ist darum der Unterschied zwischen Männer-, Frauen- und Kinderstimmen hauptsächlich begründet. Während die mittlere Länge der Stimmbänder beim Manne in der Ruhe $18\frac{1}{2}$ Millimeter (ungefähr $8\frac{1}{2}$ pr. Lin.), in der größten Spannung $23\frac{1}{6}$ Mill. beträgt, schwankt sie beim Weibe zwischen $12\frac{2}{3}$ und $15\frac{2}{3}$, bei einem 14 jährigen Knaben zwischen $10\frac{1}{2}$ und $14\frac{1}{2}$ Mill. Der Klang der Stimme aber wird, ähnlich wie wir es bei den musikalischen Instrumenten erfahren haben, besonders durch die Härte der Kehlkopfknorpel bedingt. Bei Frauen und Kindern sind diese Knorpel biegsam und weich, bei Männern und manchen Frauen, deren Stimme männlich klingt, hart und oft fast verknöchert. Mund-, Rachen- und Nasenhöhle endlich, die Resonanzhöhlen der menschlichen Stimme, Gaumen, Zähne, Zunge und Lippen bilden die Töne durch ihre mannigfaltige Stellung und Bewegung zu jenen bestimmten Lauten um, aus denen die menschliche Sprache sich zusammensetzt.

So ist also jeder Laut der menschlichen Stimme das Erzeugniß eines unabsichtlich von innen heraus geleiteten Spieles jenes musikalischen Instruments, mit dem die Natur den Menschen ausstattete, mit einfacheren Worten das Erzeugniß einer Muskelbewegung, welche, wie durch das ganze weite Reich der lebendigen Natur, in Wellenbewegungen das innere Wesen enthüllt, welche ihm Ausdruck und Sprache leiht. Wie wir nun aus andern Muskelbewegungen, wie wir aus dem Spiele der Augen-

oder Gesichtsmuskeln die innern Zustände des Andern zu errathen vermögen, so schließen wir auch aus den Tönen, welche das Spiel der Athem- und Kehlkopfmuskeln erzeugt, aus ihrem Klange, ihrer Höhe und Tiefe, Stärke und Schwäche, aus der Schnelligkeit oder Langsamkeit ihres Wechsels auf die Stimmungen zurück, denen sie ihr Entstehen verdanken. Darin ruht das Geheimniß der Zaubersprache der menschlichen Stimme.

Wie die Gesichtszüge, so erschlaffen in Trauer und Schmerz auch die Stimmbänder, und dumpf und tief werden die Töne, welche solche Stimmungen erpressen. Wie die Muskeln des Gesichts, erreichen auch die Stimmmuskeln ihre höchste Spannung in der Exaltation des Jubels und der Begeisterung und verkünden sie in lauten und hohen Tönen. Wie das Kind im Frohsinn hüpft und tanzt, wie die Züge der Freude wechseln in raschem Spiel, so wechseln bald hoch bald tief die Töne der Lust; und wie die Miene des Ernstes erstarrt, so wird eintönig die ernste, leidenschaftslose Mahnung. Je höher die Erregung der Leidenschaft, desto mehr Muskeln setzt sie in Bewegung. Es ist, als ob man einen Feind suche, der sich nicht darbietet, als ob man der innern Aufregung Gegenstände schaffen müsse, denen sie kämpfend die Spitze bieten könne. Da werden die Kiefer zusammengepreßt, daß die Zähne knirschen, da wird mit den Händen gerungen, die Fäuste werden geballt, als sollten die Nägel das Fleisch durchbohren, und — die Stimmbänder werden gespannt, die Stimmritze wird verengt, daß der hervorgepreßte Luftstrom im Kampfe mit

den selbstbereiteten Widerständen jene hohen und starken Töne der Leidenschaft und Wuth erzeugt. Wenn die überspannte Kraft sinkt, und der Wille, die Widerstände zu überwältigen, erschlafft, dann sinken die Arme erschöpft herab, der Mund öffnet sich, und — zwischen den erschlafften Stimmbändern aus der erweiterten Stimmritze dringen tiefe Töne hervor.

Auf diesem innigen Zusammenhange zwischen unserer Stimmung und unsern Stimmwerkzeugen beruht die ansteckende Macht der Töne, das Mitklingen des Jubels und der Klage. Darauf beruht jene Zaubergewalt der Musik über das menschliche Herz, durch die sie, aus todten, seelenlosen Stoffen strömend, im Wechsel von hohen und tiefen, starken und schwachen, an- und abschwellenden, con- und dissonirenden Tönen unsre Stimmungen zu beherrschen, zu wecken und zu vernichten weiß. Es ist, als ob unser Gemüth die Welt der Töne nicht anders in sich aufzunehmen vermöchte, als wenn es sich in Zustände versetzt, die ihrem Entstehen entsprechen.

Feierlich, mächtig erregend wirkt der gleichförmige Ton; die Trompete ruft den Krieger zum Kampf, die Posaune erfüllt mit heiligen Schauern. Diese Macht liegt in dem Anschwellen des Tones. Wie mit der wachsenden Stärke des Athems die Spannung der Stimmbänder nachläßt, so klingt aus dem allmälig anschwellenden Tone die wachsende Kraft und die Ueberwindung des Widerstandes hervor. Der Sieg winkt näher und näher, wenn die schwellenden Töne aufsteigen und den Gipfelpunkt der Erregung verkünden; die Niederlage droht

im Abschwellen der aufsteigenden Tonreihe. Ein Bild inneren Hinsterbens aber und völliger Ergebung und Ohnmacht tritt uns entgegen, wenn die absteigende Tonreihe zugleich in abnehmender Tonstärke erklingt. Es ist, als ob die sinkende Athmung niederdrückend auf unser Gemüth wirke, als ob die Erschlaffung der Stimmbänder das gedrückte Gemüth nicht mehr zu erheben vermöchte, gleichwie im Klange die sinkende Kraft durch Widerstände nicht mehr gehoben wird.

Die Musik ist mehr als, was Oersted sagt, ein heimliches, unbewußtes Zählen der Seele; sie ist ein Mitwogen und Mittönen der Seele, und ihre Wirkung bedingt durch die gemeinsame Harmonie, das gemeinsame Gesetz drinnen und draußen. Die Musik ist ein Bewußtwerden der innern Harmonie mit der Natur.

Siebentes Kapitel.

Töne und Farben.

(Fortsetzung.)

Nur Bewegung ist es, in welcher alles Leben sich kund giebt, Bewegung, aus welcher aller Sinnengenuß fließt. Als Wellen strömten die Töne in unser Ohr, als Wellen erregten sie die Stimmungen unsrer Seele. Sollte es eine solche Bewegung auch sein, durch welche die Farbenpracht der Natur in unser Auge einzieht, sollten es Wellen sein, mit denen unsre Stimmungen wogen, vom frischen Grün des Frühlings, vom bunten Laub

herbstlicher Wälder, von der weißen Schneedecke des Winters angeregt? Sollte ein bewegter Ocean uns grüßen, und Wellenzüge, lange und kurze, schnelle und langsame zu uns herniederrollen dort aus den goldumsäumten Wolken im grünlichen Blau des Abendhimmels? Sollten diese süßen Schauer, mit denen der Anblick der Frühlingslandschaft das übersättigte Gemüth des Salonmenschen ebenso wie die stumpfen Sinne des Arbeiters durchbebt, gleichsam dem Zauber einer Farbenmusik, eines Lichtconcertes entstammen? So ist es in der That! Farben sind Lichttöne. Seit Anbeginn rauschen die Wellen des Lichts durch den weiten Himmelsocean, und lange, ehe die Wissenschaft ihr Dasein ahnte, ehe sie ihre Berge und Thäler maß und ihren Flug berechnete, hat das Auge ihre zarten Verhältnisse empfunden und ihre feinsten Unterschiede aufgefaßt.

Wie der tönende Körper durch seine eignen Erzitterungen die Umgebung zu gleichem Takte der Bewegung stimmt, wie seine Schwingungen sich nach allen Seiten übertragen und in geschlossenen Massen, deren sie sich bemächtigen, stehende Wellen erregen, so daß diese selbst zum Tönen kommen, so bewegen die eignen, wir wissen nicht, wodurch angeregten Schwingungen in den selbstleuchtenden Körpern das weite Luftmeer, und sein Wellenschlag regt die Körperwelt, die in seine Fluthen taucht, zu gleichen Schwingungen und zu gleichem Takte an. Die zarten organischen Theile unsres Auges aber werden berührt von diesen flüchtigen Wellen, und der Eindruck, den sie erleiden, angemessen der Verschiedenhei-

des Antriebes, wird hier als Licht, als farbiges Licht empfunden.

Welchen Stoffes dieses wogende Lichtmeer sei, wissen wir nicht. Die Wissenschaft nennt ihn Aether. Genug, es muß ein Stoff sein, der fähig der außerordentlichsten Geschwindigkeit des Bewegens die weiten Räume des Fixsternhimmels ebenso erfüllt als unsre irdischen Räume; es muß ein Stoff sein, der Alles durchdringend und in steter Erzitterung durch die vermeintlich leeren Räume des Weltalls die Brücke bildet zu unserm Auge. Noch hat kein Chemiker diesen Aether analysirt, kein Physiker ihn gewogen; aber die Wissenschaft hat dennoch die Bahnen seiner kleinsten Theilchen, ihre Form, ihre Richtung mit derselben Sicherheit, mit derselben Zuversicht auf die bestätigende Antwort der Natur bestimmt, wie der Astronom die Bahnen der Himmelskörper zeichnet, gestützt auf das Gesetz der allgemeinen Gravitation.

Keine Umwälzung kann größer, überraschender sein als die, welche die Naturwissenschaft in unsern Anschauungen bewirkt. So eben noch traten wir in eine frische, duftende Welt hinaus; das Grün gehörte diesen Saaten, diesem jungen Laube, das Blau dem Himmel, das Gelb und Roth den Blumen; es war ihr Schmuck und der Ausdruck ihres innersten Wesens. Ein Zauberschlag hat diese Wunderwelt vernichtet, hat sie in ein kaltes, ödes Nachtbild verwandelt, und keine Phantasie vermag jenem Chaos, ehe es Licht geworden, trostlosere Bilder zu entlehnen, als diese gespensterhaften Formen, welche die Wissenschaft ihrer bunten Lebensgewänder entkleidet hat.

Aber da tönt ein fernes Rauschen wie von Meereswogen, und ein Meer braust heran, und aus seinem Wellenschaum taucht neugeboren die heitre, farbenglühende Welt hervor. Die sinnliche Erscheinung ist vernichtet, das ruhige Bild war gleichsam nur ein Vorhang, der eine Stätte ewigen Lebens und Bewegens verdeckte.

Ich begreife wohl den Groll unsres großen Dichters Göthe gegen den Schöpfer unsrer heutigen Naturwissenschaft, den großen Newton, welcher diesen Vorhang zerriß. Es liegt in der Eigenthümlichkeit des dichterischen Wesens und ist eine Forderung der innersten Natur des poetischen Genius, daß er stets die volle Energie der sinnlichen Erscheinung festzuhalten strebt; muß er doch selbst das Geistige in sinnliche Formen kleiden, um ihm die Frische und Lebendigkeit unmittelbarer Anschauung zu verleihen. Das dichterische Gemüth war verletzt durch die rauhen Eingriffe des kalten und berechnenden Verstandes in das warme Leben. Er, dem überall die Anschauung als das Höchste galt, der überall den frischen, unmittelbaren Genuß verlangte, sah hier durch einen Federstrich des Mathematikers das schönste Geschenk der Natur, die Farbe, vernichtet, sah den einfachen, ganzen Lichtstrahl vor seinen Augen zerstückelt, aufgelöst. Die innersten Tiefen des Dichters schäumten auf gegen eine solche mathematisch-mechanische Ansicht von der Natur, und jene Wellenbewegung des Lichts, wie sie die heutige Wissenschaft lehrt, konnte ihn nur an das häßliche Stoßen und Drängen erinnern, das ihm schon den Plutonismus in der Entwickelungsgeschichte der Erde verleidete. Aber

die Poesie geht in der Wissenschaft nicht unter; neugeboren, verklärt taucht sie aus der verzehrenden Flamme empor. Aus der vernichteten Anschauung erstand der tiefpoetische Gedanke, der das Licht in eine Farbenmusik, in ein Reich sichtbarer Töne verwandelt.

Ein Meer rauscht zu uns heran. Seine Wellen schlagen an die Ufer unsres Auges, und gleich telegraphischen Drähten verkünden unsre Nerven jeden empfangenen Eindruck tief in das Innere unsres Gehirns. Bald weiter, bald kürzer greifen diese Wellen in ihren Schwingungen aus, als ob bald ein Sturm sie triebe, bald ein sanfter Zephyr über sie hinhauchte. Bald stärker, bald schwächer empfinden wir diesen Wellenschlag, wie die bald mächtig schwellenden, bald leise ersterbenden Töne, welche den Saiten die stärkere oder leisere Berührung der Hand entlockt. Bald stürzen diese Wellen schnell und in kurzen Stößen daher, bald schleichen sie träge in langen Zügen zum Ufer; und wie hohe und tiefe Töne das Ohr, so empfindet bunte Farben das Auge. Wie Töne nur Empfindungen sind, welche Schallwellenzüge von verschiedener Schwingungsdauer und Wellenlänge im Ohre erregen, so sind für das Auge die Farben Empfindungen derselben Verschiedenheiten im Wellengebiete des Lichts.

Auch der Zauber der Farben beruht auf einer ähnlichen Harmonie, wie der der Töne. Auch im Reiche der Farben herrschen Zahlenverhältnisse, gleich begründet draußen in der Natur, wie drinnen in der genießenden Seele des Menschen, messend die Bewegungen des Aethers, wie die zarten Bewegungen unsres Hirns, die wir als

Empfindung bezeichnen. Wie langsameren Schallschwingungen tiefere, schnelleren höhere Töne entsprechen, wie ein Ton, der in gleicher Zeit doppelt so viele Schwingungen macht, als ein andrer, uns als dessen Octave, ein Ton, welcher je drei Schwingungen für je zwei eines andern macht, als dessen Quinte erscheint, so empfinden wir die am langsamsten schwingenden Lichtwellen roth, die am schnellsten schwingenden violett. Das Auge zählt wie das Ohr, zählt selbst im wunderbar schnellen Fluge des Lichts diese kleinen Anstöße, die nicht wie die groben Erzitterungen der tönenden Saite in ihren mechanischen Wirkungen zu erfassen sind, deren, wie wir sehen werden, eine einzige Secunde über 400 Billionen umfaßt! Aber um so viel das Auge in dieser Feinheit des Zählens das Ohr übertrifft, das nur wenige Tausende von Schwingungen in der Secunde noch zu umfassen vermag, so weit steht es hinter ihm zurück in den Grenzen, innerhalb deren es diese Geschicklichkeit ausübt. Das Reich der Töne umfaßt 9—11 Octaven, aber das Auge bewegt sich höchstens in den Grenzen einer Sexte oder kleinen Septime, wenn es vom äußersten Roth bis zum äußersten Violett schweift.

Aber auch innerhalb dieser engen Grenzen besteht eine reiche Mannigfaltigkeit von Verhältnissen. Nicht in einem Takte erzittert jener Aether, nicht eintönig klingt jene Sphärenmusik, von der schon die Alten ahnend träumten. Zahlreiche Schwingungen erfüllen beständig den Weltraum, und selbst das einfarbige Licht, das wir zu erblicken meinen, ist nur die gemeinsame Wirkung viel-

facher verschiedener Wellen. Freilich besitzt das Auge nicht die wunderbare Fertigkeit des Ohres, die wirkenden Elemente in solchen Eindrücken herauszufinden. Unser Auge vermag nicht das einfache Orange von der Mischung von Roth und Gelb oder von Roth, Orange und Gelb zu unterscheiden, wie doch das Ohr so leicht den einfachen Ton E von der kleinen Terz DF oder der doppelten Dissonanz DEF zu scheiden weiß. Aber das ist eine Eigenthümlichkeit unsres Sinnes, unsrer empfindenden Nerven, nicht der schwingenden Bewegung selbst.

Auch für unser Ohr giebt es Verhältnisse, wo es nicht mehr im Stande ist, seine gleichzeitigen Empfindungen zu sondern. Welches musikalische Ohr vermöchte aus dem Brausen der Meeresbrandung die Reihe der Töne herauszuhören, welche es zusammensetzen! Zu zahlreich sind die sich kreuzenden Systeme von Schallwellen, zu verschieden an Schwingungsdauer und Stärke diese Wellen selbst, die von den millionenfach zerrissenen, hin- und hergeschleuderten Wassertheilchen angeregt und von der wild bewegten Luft mit empfunden und fortgetragen werden, als daß unsre Sinne eine Ordnung darin erfassen, ein Einzelnes darin unterscheiden könnten. Aber diese Ordnung stellt sich her, wenn eine breite Felsenmauer am Ufer diese Wellen zurückwirft, so daß die einzelnen Wellensysteme in verschiedener Entfernung vor der Mauer zur Interferenz kommen, in ihrer Begegnung einander theils aufheben, theils verstärken. Das Ohr hört jetzt die einzelnen Töne des wilden Gebrauses. Solch eines Mittels bedarf es nun auch, um die mannigfaltigen Wellensysteme, welche

von einem leuchtenden Körper ausgehen, dessen Oberfläche wir uns ja auch in ähnlicher, unregelmäßiger Erzitterung wie die Wassertheilchen der Brandung denken müssen, nach ihrer Schwingungsdauer zu ordnen, so daß die gleichen Wellen getrennt von den andern ihren eignen Weg einschlagen und getrennt empfunden werden können. Es bedarf eines Mittels, welches das Lichtgebrause, das wir weißes Licht nennen, ebenso in einfache Farben zerlegt, wie der Widerhall der Mauer das Brausen der Brandung in musikalische Töne zerlegte.

Indem wir uns noch nach diesem Mittel umsehen, zeigt es uns die Natur in einem ihrer wunderbarsten Zaubergebilde selbst. Während wir uns in Betrachtungen über die Töne ergingen, hatten wir die Natur draußen vergessen. Einzelne Regentropfen weckten uns aus unsern Träumen. Eine dunkle Regenwolke war am lichtblauen Himmel aufgestiegen, und während der Gedanke der Harmonie in uns Gestalt gewann, schien draußen sich alle Harmonie in einen Kampf der Elemente aufzulösen. Aber wie wir uns so manchmal in unserm Leben täuschten, wenn Wolken am fernen Horizonte aufstiegen und den stillen Frieden unsres Lebens zu bedrohen schienen, während doch grade sie es dann wurden, welche die innere Harmonie der Seele gestalteten und die wild durch einander geworfenen geistigen Elemente in uns sonderten; so täuschen wir uns heut einmal draußen. Die dunkle Regenwolke ist vorübergezogen und bedeckt nur noch einen Theil des nördlichen Himmels. Die Strahlen der Sonne brechen soeben wieder am Mittagshimmel hervor,

und über die erquickten Fluren, auf denen noch einzelne Regentropfen funkeln, spannt sich der Regenbogen, das poetische Urbild der Harmonie und des Friedens und in Wirklichkeit die Auflösung in einander verschwimmender Farbendissonanzen zu harmonischer Ordnung.

Eine sinnige, poetische Naturanschauung sah einst in diesem Regenbogen die Brücke, welche zwischen Götter- und Menschenwelt gespannt auf prächtigen Pfaden die Götterboten zur Erde niedertrug, die Brücke, über welche einst die mächtigen Asen herabdonnerten zum wilden Götterkampf. Die nüchterne Prosa der Wissenschaft mit ihren Zahlen und Formeln hat diese Poesie zerstört, aber nur um eine wunderbarere, poetischere Wirklichkeit an die Stelle zu setzen. Für uns soll er das Thor sein, durch welches wir einziehen in das Reich der Farben, die Brücke, auf welcher zarte Lichtboten zu uns niederschweben, um uns die ewige Harmonie der Natur mitten in der mannigfaltigsten Bewegung und im Gewühle des Kampfes zu verkünden.

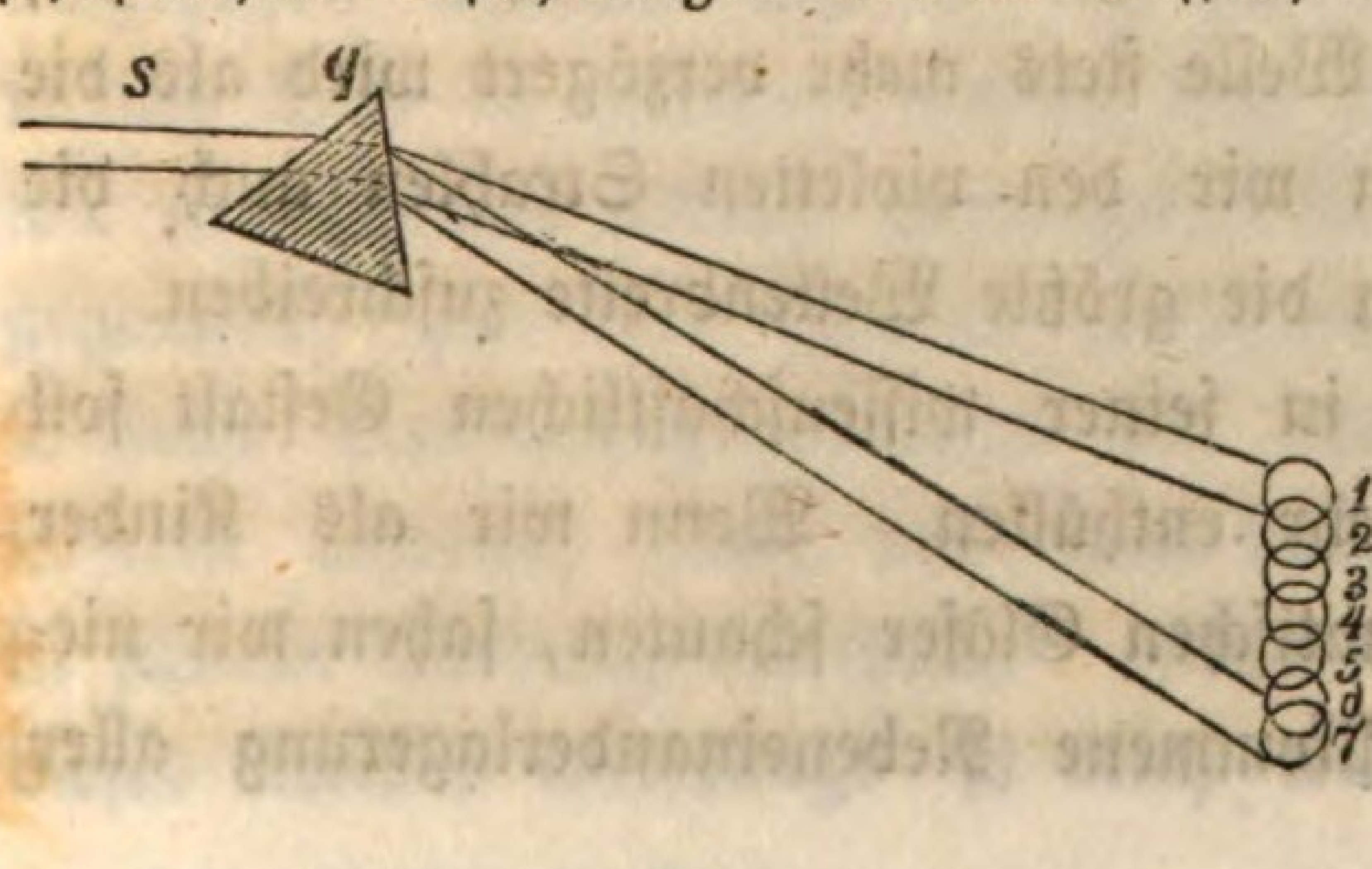
Die dunkle Regenwolke ist es, welche uns das farbenlose Sonnenlicht in so wunderbarer Farbenpracht zurücksendet, ähnlich jener Felsenwand, welche das Brausen der Meereswellen in harmonische Töne verwandelte. In dieser Regenwolke also muß eine Veränderung des Lichtstrahls vorgegangen sein, ehe er in unser Auge zurückgeworfen wurde. Die Wassertropfen der Wolke sind die Zauberer dieser Farben. Darin werden wir um so mehr bestärkt, als dieselbe Erscheinung uns schon oft begegnete in dem Staubregen eines Wasserfalls oder Springbrun-

nens oder in dem Sprühregen, der von den Schaufelrädern eines Dampfschiffes träufelte, als jeder Thautropfen im Grase sogar uns ein überraschendes Farbenspiel entgegenfunkelt. Wir erinnern uns, daß auch die kleinen Glasprismen, mit denen man bisweilen Kronleuchter schmückt, solche Farbenpracht entfalteten, und daß wir uns als Kinder oft damit unterhielten, kleine polyedrisch geschliffene Gläser vor die Augen zu halten, weil sie alle Gegenstände mit farbigen Rändern umsäumten. Die Veränderung aber, die das Licht in diesen Tropfen und Gläsern, die es überhaupt bei jedem Durchgange durch ein Mittel von verschiedner Dichtigkeit erleidet, haben wir als Brechung bezeichnen gelernt.

Die Brechung war aber nichts andres als eine Ablenkung des Lichtstrahles aus seiner Richtung, welche gleichbedeutend ist mit einer Veränderung in der Geschwindigkeit der Lichtwellen unter dem Einflusse der materiellen Körpertheilchen. Die Entstehung der Farben kann also nur in einer Verschiedenheit der Brechung bestehen, und es müssen daher nothwendig schon in dem scheinbar einfachen weißen Sonnenstrahl Wellen von verschiedner Geschwindigkeit vorhanden sein, damit ihre Geschwindigkeit in verschiedenem Grade vermindert und so ihre Trennung bewirkt werden kann. Ist das aber der Fall, so werden von diesen Wellen beim Uebergange aus einem dünneren in ein dichteres Mittel offenbar die schnellsten die größte, die langsamsten die geringste Verminderung ihrer Geschwindigkeit erfahren. Hängt nun aber, wie wir bereits früher erkannt haben, die Größe der

Brechung eines Lichtstrahls beim Eintritt aus einem Mittel in das andre von dem gegenseitigen Verhältnisse der Geschwindigkeiten ab, mit welchen er sich in beiden Mitteln fortbewegt, so müssen auch die am schnellsten schwingenden Strahlen, als die am meisten verzögerten, am stärksten, die langsamsten Strahlen am schwächsten gebrochen werden. Die Geschwindigkeit der Wellen aber, d. h. ihrer schwingenden Theilchen, nicht ihrer Fortbewegung, hängt wieder von der Breite der Wellen ab oder ist vielmehr gleichbedeutend mit dieser. Den schneller schwingenden Strahlen müssen wir also eine größere, den langsameren eine kleinere Wellenbreite zuschreiben, und so gelangen wir zu dem überraschenden Resultate, daß Farbe, Brechbarkeit und Wellenbreite für die wissenschaftliche Sprache des Lichts als völlig gleichbedeutende Ausdrücke erscheinen.

Wir wollen nun für einen Augenblick zum kindischen Spiele zurückkehren, um es mit dem Auge der Wissenschaft anzuschauen, und um klarer zu blicken, wollen wir dieses Spiel vereinfachen. Wir nehmen ein dreiseitiges Glasprisma, von dem wir aus unsern wissenschaftlichen Erfahrungen bereits wissen, daß es den Lichtstrahl durch Brechung ablenkt, und zwar nach unten, wenn der brechende Winkel des Prismas nach oben gekehrt



ist, von dem uns unsre kindlichen Erinnerungen aber auch sagen, daß es Farben zu zaubern weiß. Um alle fremden Einwirkungen fern zu halten, lassen wir einen einfachen Lichtstrahl oder doch ein möglichst kleines Strahlenbündel durch eine feine Oeffnung in ein dunkles Zimmer fallen. Ein kleines, rundes, weißes Sonnenbild erscheint an der gegenüberstehenden Wand. Jetzt aber halten wir unser Prisma hinter die Oeffnung. Das kleine Sonnenbild erscheint tiefer unten, nicht mehr kreisförmig, sondern langgezogen, nicht mehr weiß, sondern als ein buntfarbiger Streifen. In diesem Farbenspectrum, wie es der Physiker nennt, erblicken wir von oben nach unten roth, orange, gelb, grün, hellblau, dunkelblau, violett, aber nicht scharf abgegrenzt, sondern durch unmerkliche Abstufungen in einander übergehend. Das Roth liegt am höchsten, ist also am wenigsten abgelenkt, das Violett erscheint am tiefsten, also am stärksten abgelenkt. In unsrer wissenschaftlichen Sprache ausgedrückt lautet also das Ergebniß unsrer Betrachtung: die violetten Strahlen sind am stärksten gebrochen, haben also ursprünglich die größte Geschwindigkeit besessen und darum die größte Verzögerung erlitten; und da die allgemeine Wellenlehre uns lehrt, daß die schmalere Welle stets mehr verzögert wird als die breitere, so müssen wir den violetten Strahlen auch die kleinste, den rothen die größte Wellenbreite zuschreiben.

Unser Spiel in seiner wissenschaftlichen Gestalt soll uns aber noch mehr enthüllen. Wenn wir als Kinder durch unsre prismatischen Gläser schauten, sahen wir niemals eine so vollkommene Nebeneinanderlagerung aller

dieser Farben, sondern stets nur farbige und zwar meist nur roth und violett gefärbte Ränder der Gegenstände. Wir halten jetzt ein Blatt Papier dicht hinter das Prisma, und wir sehen nun ein weißes Bild, das nur an den Rändern oben roth, unten violett, also ganz wie die Bilder aus unserer kindlichen Erinnerung gefärbt ist. Die Erklärung liegt nahe. Die Entfernung ist zu gering, um eine vollkommene Farbenzerstreuung eintreten zu lassen; das violette und rothe Bild greifen in einander, und in der Mitte lagern sich Strahlen aller Farben über einander, so daß sie in ihrer Vereinigung als weißes Licht erscheinen.

Brachten wir hier bereits theilweis eine Vereinigung farbiger Strahlen zu weißem Lichte hervor, so müssen wir auch im Stande sein, die ganze Erscheinung wieder aufzuheben. Das Mittel wird einfach in der Umkehrung desjenigen Mittels bestehen, durch welches wir die Erscheinung hervorriefen, d. h. in einem Prisma von gleichem, aber entgegengerichtetem Brechungswinkel. Dadurch werden die bisher am wenigsten gebrochenen Strahlen am stärksten gebrochen, die bisherige Ablenkung aller Strahlen wird also aufgehoben werden, und es erscheint in der That ein weißes Bild in derselben Gestalt und an derselben Stelle, wie es erscheinen würde, wenn gar keine Brechung vorangegangen, gar kein Prisma vorhanden gewesen wäre. Dieselbe Erscheinung bewirkten wir schon als Kinder in unseren Spielen, wenn wir einen bunt gefärbten Kreisel in schnelle Drehung versetzten. Zwar waren die Farben dieses Kreisels keineswegs so rein, wie die des prisma-

tischen Sonnenbildes, und die schnelle Bewegung, welche für unser Auge ihre Eindrücke vermischte, erzeugte auch darum keineswegs ein reines, sondern bald ein mehr gelbliches, bald ein bläuliches Weiß; aber die Wirkung war doch immer eine Wiedervereinigung der getrennten farbigen Strahlen zu weißem Lichte.

In jenen Sonnenstrahlen also, welche von allen Seiten zu uns niederschießen, sind die Farben schon vorgebildet, welche unser Auge empfindet, wenn sie ihm getrennt zur Erscheinung kommen. Jene bunten Farben der Blumen, der Wiese, des Himmels müssen dagegen bereits eines Theils jener ursprünglichen Strahlen beraubt sein, um diese Färbung darzubieten. Denn wenn in der Mischung der Sonnenstrahlen nur eine Farbe fehlt, so kann aus ihrer Vereinigung nicht mehr Weiß hervorgehen. Schließen wir durch einen Schirm die rothen Strahlen aus jenem prismatischen Bilde aus, und vereinigen wir die übrigen durch ein zweites Prisma, so erblicken wir nicht mehr ein weißes, sondern ein grünes Bild. Schließen wir die grünen Strahlen aus, so erhalten wir Roth. Solche Farben, die sich gleichsam zum Weiß ergänzen, deren jede, wenn sie in der Mischung der übrigen Farben fehlt, die andere hervorruft, Roth und Grün, Orange und Blau, Gelb und Violett, nennt die Wissenschaft darum complementäre oder Ergänzungsfarben.

Die Empfindung einer bestimmten Farbe im Auge entsteht also nicht immer, wie es bei der Tonempfindung im Ohre der Fall ist, durch Einwirkung einer einzigen

bestimmten Strahlengattung, sondern ebenso gut durch Zusammenwirken mehrerer verschiedenfarbiger Strahlen. Einfache und gemischte Farben können dem Auge gleich erscheinen, und nur das Prisma unterscheidet sie, indem es die einfache Farbe unverändert läßt, die gemischte aber in farbige Bilder zerlegt.

Eine Mischung von Orange und Blau erzeugt Weiß! Das widerspricht ja allen unsern Erfahrungen, da wir so oft als Kinder unsre blauen und gelben Farbstoffe mischten, um Grün und nicht Weiß zu erzeugen. Die Wissenschaft hat in neuerer Zeit allerdings von dieser Alltagserfahrung Kenntniß genommen und den Unterschied, welcher zwischen den Farbenempfindungen, die man durch Vereinigung zweier prismatischer Farben erhält, und denen besteht, die durch Mischung entsprechender Farbstoffe erzeugt werden, zum Gegenstand ihrer Untersuchung gemacht. Helmholtz namentlich hat manches aufklärende Licht in diese Erscheinungswelt unsres Auges geworfen. Er hat darauf hingewiesen, daß unsre gelben Farbstoffe niemals blos gelbe, sondern auch andere, namentlich grüne, unsere blauen Farbstoffe gleichfalls außer den blauen grüne Strahlen reflectiren, und daß darum ihre Mischung vorzugsweise die Empfindung der grünen Farbe hervorrufen muß, da sich ja die gelben und blauen Strahlen zu Weiß ergänzen. Er hat ferner gezeigt, daß die alte Ansicht, als ob alle möglicher Weise existirenden Farben sich aus den drei sogenannten Grundfarben des Spectrums Roth, Gelb, Blau zusammensetzen lassen, eine völlig irrthümliche ist, da diese drei Farben niemals Grün

erzeugen. Er hat nachgewiesen, daß man allerdings die matteren Mischfarben der Naturkörper ziemlich gut durch drei einfache Farben des Spectrums nachahmen kann, wenn man Roth, Grün und Violett zu diesem Zwecke wählt, die sich gleichfalls zu Weiß vereinigen lassen, daß man aber, um die Reihe der gesättigten Farben des Spectrums nachzuahmen, wenigstens 5 einfache Farben, Roth, Gelb, Grün, Blau und Violett bedarf. Die Mannigfaltigkeit der Farben, welche aus der Vereinigung je zweier dieser Farben hervorgeht, übersehen wir am besten in folgender Tabelle, welche an der Kreuzungsstelle die Mischfarben der entsprechenden einfachen Farben enthält.

	Violett	Blau	Grün	Gelb
Roth	Purpur	Rosa	Mattgelb	Orange
Gelb	Lila	Weiß	Gelbgrün	
Grün	Blaßblau	Blaugrün		
Blau	Indigoblau			

Wir ersehen daraus, wie gemischte Empfindungen das Auge als einfache auffaßt, wie verschiedene Combinationen von Farben derselben Empfindung zu Grunde liegen können, und wie viel mannigfaltiger diese Combinationen noch werden können, je weißlicher die Farbe ist, über welche das Auge entscheiden soll.

So fremdartig es uns, allgemein ausgesprochen, klingen mag, daß die Farbe nichts den Körpern Eigenthümliches sei, sondern von ihnen erst den Strahlen des sie beleuchtenden Lichtes entlehnt werde, so vertraut sind wir doch mit einer unmittelbar daraus fließenden Thatsache,

deren Nichtachtung der Eitelkeit unserer jungen Balldamen oft theuer zu stehen kommt. Zwei Körper nämlich, die im Tageslichte völlig gleiche Farben zeigen, können im gelben Lampenlichte ungleiche Farben haben und umgekehrt. Wenn eine Fläche im Tageslichte roth erscheint, so ist es darin begründet, daß sie alles gelbe und blaue Licht des Tageslichts verschluckt und nur das rothe zurückwirft. Beleuchten wir aber diese Fläche mit gelbem Lichte, so fehlt diesem gerade das Roth, und es enthält keine Farbe, die nicht von jener Fläche gänzlich verschluckt würde. Es wird also bei gelber Beleuchtung gar kein Licht zurückgeworfen, und die rothe Fläche erscheint schwarz. Am vollkommensten können wir ein solches einfaches gelbes Licht erzeugen, wenn wir den Docht einer Spirituslampe stark mit Kochsalz einreiben. Den Beweis dafür giebt uns ein Blick durch unser Prisma, das uns außer einem reinen gelben Bilde nur ein sehr mattes violettes Bild der Flamme zeigt. In dem Lichte einer solchen Lampe verlieren die buntesten Gegenstände ihren Farbenschmuck; Blumen, Kleider, Gemälde hüllen sich fast zur Unkenntlichkeit in ein eintöniges gelbes Colorit. Ins Gelbe spielendes Roth zeigt sich in diesem Lichte schmutziggelb, bläuliches Roth erscheint schwarz oder bräunlich; Grün und Blau verbleichen zu Grau oder Gelblichgrau. Das prachtvolle Farbenkleid eines Kolibri verwandelt sich in das dunkle Gefieder des Raben, und die blühende Gesichtsfarbe der Jungfrau in das schmutzige Grau der verwesenden Leiche. Nun ist aber all unser künstliches Licht in Theatern, Salons und Ballsälen diesem gelben

Lichte mehr oder weniger verwandt, und in allen diesen Räumen wiederholt sich daher mehr oder weniger jene entstellende Farbenverwandlung. Darum müssen unsere Schauspielerinnen ihre Wangen schminken, weil das Licht ihre natürliche Farbe vernichtet. Darum muß weißen Ballkleidern oder Vorhängen ein gelblicher, nicht ein bläulicher Schimmer gegeben werden, wenn sie in der Abendbeleuchtung rein weiß, nicht grau erscheinen sollen. Darum ist es der ärgste Verstoß in einer Abendtoilette, wenn Bänder oder Schleifen von verschiedenem Roth darin vereinigt werden, weil die einen durch das gelbe Licht in Gelb, die andern in Braun übergespielt werden. Wer an den Altären des Geschmacks opfern, wer seine Schönheit stets im besten Lichte zeigen will, der darf mit dieser Lehre der Wissenschaft nicht unbekannt bleiben und muß in der That sein Augenmerk auf das Licht richten, in dem er sich zeigt, und an dem sogar die ganze Umgebung, namentlich die Farbe der Wände, der Teppiche, der Möbel einen wesentlichen Antheil nimmt.

Aber nicht das zurückgeworfene Licht allein, auch das durchgelassene kann durch jene geheimnißvollen Eigenthümlichkeiten des inneren Baues der Körper zu einer Quelle der Farbenerzeugung werden. Wo beide Quellen gemeinsam fließen, wird sich sogar die höchste Farbenpracht entwickeln. Die meisten durchsichtigen Körper lassen dieselben Strahlen durch, die sie reflectiren, zeigen also die gleiche Farbe im durchgelassenen, wie im zurückgeworfenen Lichte. Aber es giebt einzelne Körper, welche eine bestimmte Farbe zurückwerfen, aber eine ganz andere und

zwar oft die entgegengesetzte, die Ergänzungsfarbe, hindurchlassen. Es giebt Körper, welche blaues oder violettes Licht zurückwerfen und rothes oder orangegelbes Licht durchlassen. Unser gewöhnliches Milchglas erscheint im zurückgeworfenen Lichte bläulich weiß, aber im durchgelassenen roth, und selbst das Gold verliert seine bekannte gelbe Farbe, wenn es in dünne Blättchen geschlagen durchsichtig wird; es erscheint dunkelgrün. Das wunderbarste Erzeugniß dieser Eigenthümlichkeit führt uns die Natur selbst allabendlich vor in dem Farbenconcert ihres Abendhimmels.

Wären wir nicht gewohnt, gedankenlos und stumpf an den alltäglichen Erscheinungen des Lebens vorüber zu gehen, so würden wir uns manche Frage an die Wissenschaft ersparen. Schon manchmal sahen wir den Wasserdampf aus dem Dampfkessel einer Locomotive ausströmen, und längst hätten wir daran das Wunder des Abendhimmels begreifen können. In der Schule pflegte man unsre Wißbegier mit der einfachen Erklärung abzufertigen, daß die schöne blaue Farbe des Himmels dadurch entstehe, daß die Luft vorzugsweise die blauen Strahlen zurückwerfe, während die in größerer Menge durchgehenden orangefarbigen Strahlen dem Himmel sein abendliches Roth verleihen sollten. Warum das so sei, lehrte uns Niemand begreifen, und die Erfahrung, daß die Sonne auch bei wolkenfreiem Himmel nicht immer mit rothgelben Farben untergeht, ließ uns sogar manchen Zweifel auftauchen, daß die Ursache dieser Erscheinung in einer so unveränderlichen Eigenschaft der Luft begründet sein könne.

Hätten wir nun den aus dem Dampfkessel strömenden Wasserdampf beobachtet, so hätten wir sehen müssen, daß dieser Dampf bei auffallendem Lichte weißlich blau, bei durchfallendem Lichte gelblich bis in tiefes Orange erscheint, und daß diese blaue Farbe ganz besonders da hervortritt, wo der Dampf noch fast als Wassergas eben ausströmt, während mehr nach oben, wo der Dampf schon zu Dunst verdichtet ist, ein reines Weiß sich zeigt. Betrachten wir nun den Wasserdampf in seinen einzelnen Theilchen, so erkennen wir unendlich viele kleine, von dünnen Wasserhäutchen umschlossene Luftbläschen. Jedes solcher Bläschen gleicht aber unsern Seifenblasen, an deren lustigem Farbenspiel wir als Kinder so oft uns ergötzten; es erzeugt wie diese im spiegelnden Sonnenlichte prachtvolle Farbenringe, in denen immer zuerst und am reinsten das Blau und Violett hervortreten. Drängen wir zunächst die Frage nach dem Ursprunge dieser Färbung zurück und begnügen wir uns damit, daß diese Färbung eine Thatsache ist, daß sie aber schwindet und allmälig in Weiß übergeht, sobald die Wände dieser Bläschen dichter werden! Solcher Dunstbläschen schweben nun Millionen beständig, selbst bei scheinbar nebelfreiem Himmel, in der Atmosphäre. Je zarter und gleichmäßiger diese Bläschen sind, je reiner wir mit andern Worten die Luft nennen, mit desto gesättigterem Blau färben sie das Himmelsgewölbe. Wenn aber ein Nebelschleier den Himmel überzieht, so erscheint er weiß, wie die Sonne, wenn sie ihre Strahlen durch Nebelmassen sendet. Wenn dicke Wolken vollends den Horizont bedecken und spärlich das

Licht der Sonne durchlassen, so vermag ihr graublaues, fast schwärzliches Dunkel den hellen Tag in Nacht zu verwandeln. Je höher wir aber hinaufsteigen zu den Höhen der Gebirge, oder je mehr wir uns nahen den dunstfreien Lüften der Tropen, in desto tieferes Blau sehen wir den Himmel sich kleiden. Freilich auch auf den höchsten Höhen und in den reinsten Lüften der Tropen ist dem dunkeln Himmelsblau noch immer etwas Weiß beigemischt. Bei dem mannigfachen Ursprunge des Wasserdunstes nämlich, der aus jedem Athemzuge eines lebenden Wesens, aus jedem brennenden Feuer, aus jeder verdunstenden Wasserfläche der Atmosphäre zuströmt, ist es natürlich, daß sich stets Bläschen der verschiedensten Feinheit und Größe in der Luft mischen. Diese verschiedenen Bläschen werfen aber auch verschiedene farbige Strahlen zurück, die in ihrem Zusammenhange unserem Auge als Weiß erscheinen und, indem sie sich mit dem ursprünglichen Blau des Himmels mischen, jenes weißliche Blau erzeugen, das so recht eigentlich die charakteristische Farbe unseres nördlichen Himmels ist.

Wie es nun die blauen Strahlen waren, welche von den Dunstbläschen des Himmels zurückgeworfen wurden, so sind es die rothen und gelben, welche von ihnen durchgelassen werden, wenn sie als zarter Dunst oder als massige Wolkenanhäufungen zwischen dem Auge und der Sonne schweben. Gegen Sonnenuntergang, ehe die zunehmende Erkaltung der Atmosphäre ihre Dampfbläschen in Dunst und Wassertropfen verdichtet, und nach Sonnenaufgang, wenn der Thau im Grase sich durch die stei-

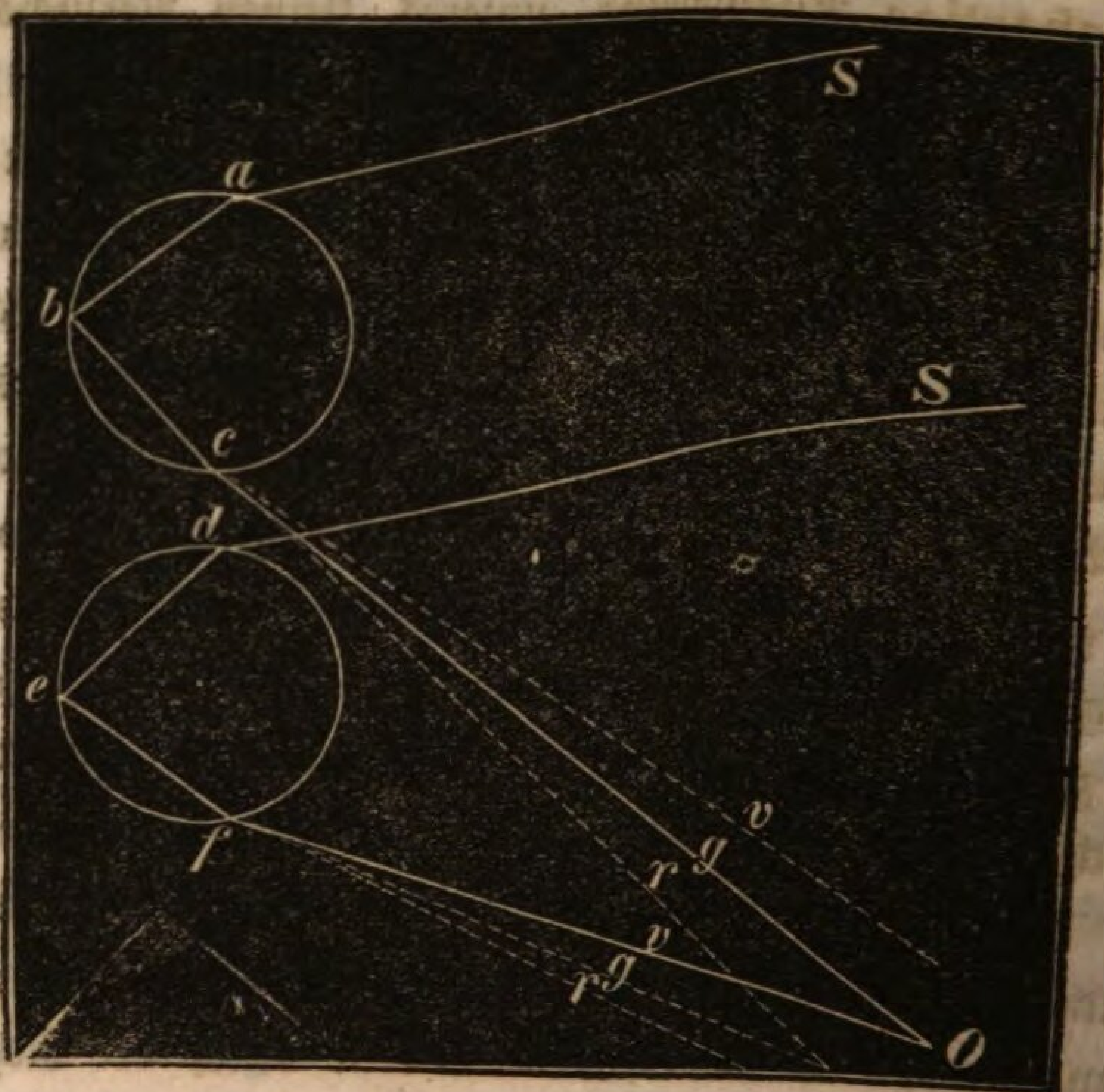
gende Wärme wieder in Dampf verwandelt, tritt der Augenblick für die bunte Malerei des Himmels ein. Gelb, roth, orange, in den verschiedensten Abstufungen und mit Weiß gemischt, erscheinen uns dann sichtbar die Dämpfe der Atmosphäre und zaubern am Himmel das Wunderbild der Dämmerung, die ihr farbiges Licht oft noch auf die gegenüberstehenden Wolken in rosigem Widerschein zurückstrahlt. Lange, ehe die Wissenschaft diese Erklärung fand, hat der Volkssinn davon geahnt. Abendroth bringt gutes, Morgenroth schlechtes Wetter, sagt der Volksglaube, und er hat nicht unrecht beobachtet. Wenn die Luft mit Wasserdämpfen so stark gesättigt ist, daß sie sich bei Sonnenuntergang schon größtentheils in Dunstbläschen verwandelt haben, so kann sich nur ein schwaches Abendroth bilden, da das dunstförmige Wasser ja durchscheinend und farblos ist, und die untergehende Sonne erscheint in gelbem, schwachgeröthetem Lichte. Umgekehrt aber deutet ein lebhaftes Morgenroth auf einen großen Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre, der nicht erst verdampfendem Thau seinen Ursprung dankt, sondern vielmehr selbst einer Verdichtung entgegensieht. Freilich täuschen, wie alle Wetterregeln, auch diese, und der Volksglaube weiß es recht wohl, wenn er in einem besonders prachtvollen, oft den ganzen Himmel überziehenden Abendroth den Vorboten schlechten, sturm- und regenreichen Wetters sieht, wie es auch in der That auf einen hohen Feuchtigkeitsgrad der Luft hindeutet.

Wie herrlich aber auch die Farbenpracht des Abendhimmels sein mag, der mit wunderbaren Reizen selbst die

ödeste Landschaft überströmen kann, was ist sie doch gegen dieses regelmäßige Spiel des Regenbogens, der wie die großartige Ausführung unseres kleinen Versuchs mit dem Prisma den Himmel schmückt. Er war das Thor, durch das wir in das Gebiet der wissenschaftlichen Farbenlehre einziehen wollten; er erweckte zuerst in uns die Ahnung einer Lichtbrechung als die Ursache aller Farbenerscheinungen der Natur. Wir verloren ihn aus den Augen, um dem Lichtstrahl auf seinen vielfach gebrochenen Wegen durch die Körperwelt zu folgen, um von seinen getrennten Wellen uns erst die Welt um uns in farbige Gewänder kleiden zu lassen. Wir kehren jetzt zu ihm zurück, um aus der Erkenntniß seiner Wunder neue Aufschlüsse über das Farbenleben der Natur zu gewinnen.

Auch der Regenbogen bricht das weiße Licht der Sonne und zerlegt es in Farben. Aber der gebrochene Sonnenstrahl kann nicht unmittelbar durch die Regentropfen hindurch in unser Auge gelangen; denn die Sonne steht in unserm Rücken und beleuchtet nur die vor uns stehende Regenwolke. Es können also nur zurückgeworfene Lichtstrahlen sein, welche von jener dunkeln Regenwand her unser Auge treffen. Allerdings dringen die Sonnenstrahlen zum Theil durch die hellen Regentropfen hindurch, aber auch nur zum Theil. Denn auch der klarste Wassertropfen ist kein völlig durchsichtiger Körper, er ist uns ja sichtbar und kann dies, wie wir wissen, nur sein durch zurückgeworfenes, gespiegeltes Licht. Jeder Wassertropfen hat seine spiegelnde Oberfläche, wie uns der funkelnde Thautropfen im Grase lehrt, und diese

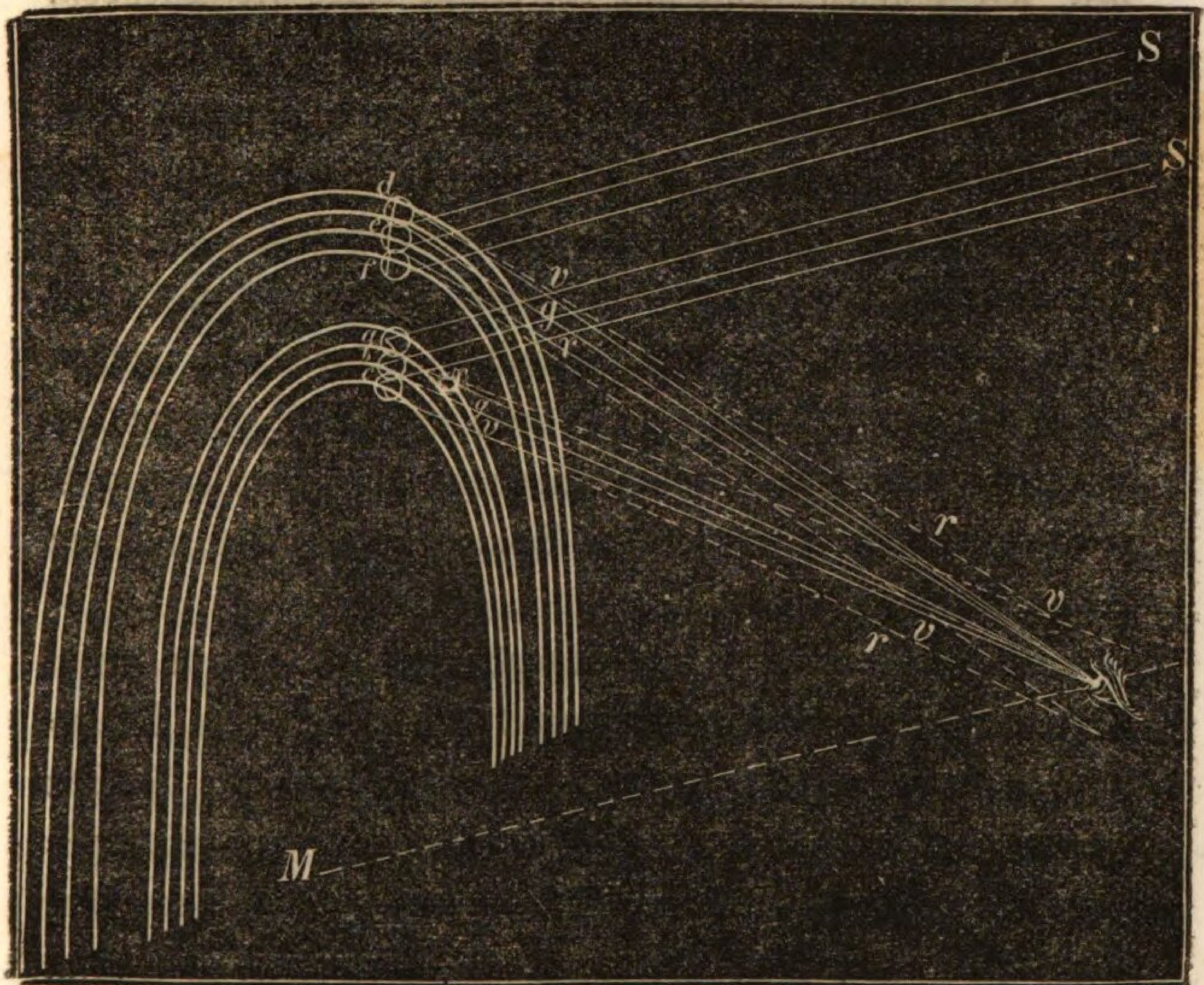
Fläche spiegelt so gut nach innen wie nach außen. Fällt daher ein Sonnenstrahl S a schief auf einen Regentropfen,



so wird er zwar im Innern gebrochen und nach a b abgelenkt, aber dieser gebrochene Strahl geht nur zum Theil durch den Tropfen hindurch und wird zum andern Theil von der innern Spiegelfläche des Tropfens in der Richtung b c zurückgeworfen. Er tritt also in seine Farben aufgelöst und nach unten abgelenkt aus dem Tropfen in der nochmals veränderten Richtung c v wieder hervor. Das in die Länge gezogene farbige Bild des Lichtstrahls kann natürlich nicht in seinem ganzen Umfange das Auge treffen, und welcher seiner zerstreuten farbigen Strahlen wirksam zur Netzhaut gelangt, muß von der Stellung des Beschauenden abhängen. Grade so zeigt uns ja der fun=

kelnde Thautropfen am Grashalm mit jeder veränderten Stellung eine andere Farbe. Von den höchsten Tropfen der Regenwolke können also nur die am wenigsten abgelenkten Strahlen, die rothen und gelben (r und g), von den untersten nur die am meisten gebrochenen, die blauen und violetten Strahlen (b und v) in unser Auge gelangen. Immer aber wird es Tropfen genug über einander in der dunkeln Regenwolke geben, um die ganze Reihe der Farben vom Roth zum Violett in unserm Auge zu spiegeln.

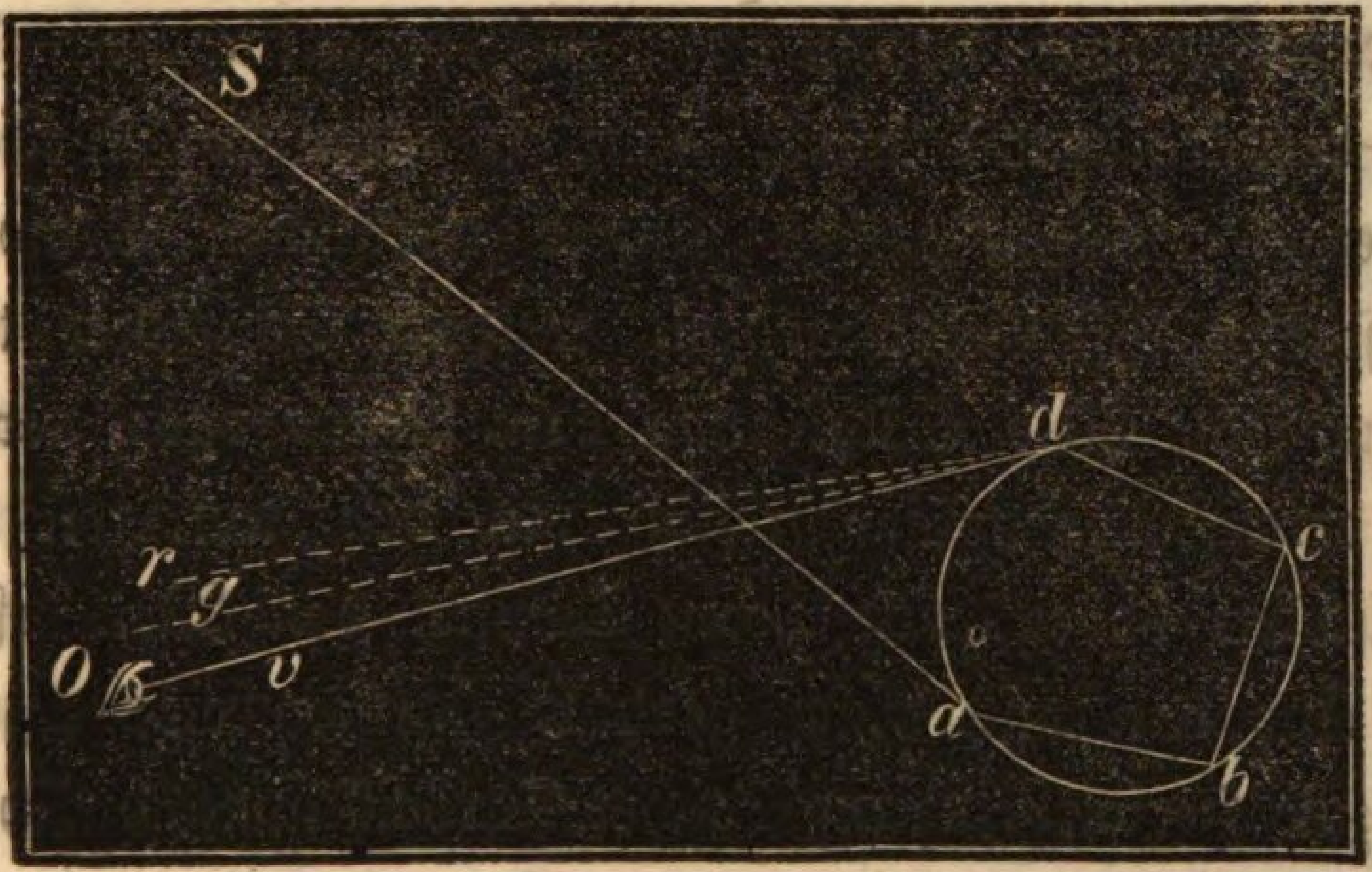
Alle Regentropfen, welche dieselbe Farbe in unser Auge senden, müssen aber natürlich auch die gleiche Lage



gegen Sonne und Auge haben; denn alle gleichfarbigen Strahlen müssen die gleiche Ablenkung erlitten haben und in gleicher Richtung unser Auge treffen. Diese gleichwirkenden Regentropfen der Wolke liegen daher in einem Kreisbogen geordnet, und ihre farbigen Strahlen bilden gleichsam den bunten Mantel eines Lichtkegels, der von der Wolke aus mit seiner Spitze in unser Auge reicht. So erscheint uns der Regenbogen in seiner schönen Kreisform, und den Mittelpunkt (M) dieses Kreises bezeichnet eine Linie, die von der Sonne her durch das beobachtende Auge gezogen wird. Dies erklärt uns, warum wir nie mehr als einen Halbkreis von einem Regenbogen sehen, wir müßten denn auf der Spitze eines freiliegenden, sehr hohen Berges stehen. Dies erklärt uns weiter, warum überhaupt die Größe des Regenbogens mit dem Stande der Sonne wechselt, den vollen Halbkreis bei Sonnenauf- und Untergang erreicht, dagegen völlig verschwindet bei einem Höhestande der Sonne von mehr als $42^1/_2{}^0$. Denn die am wenigsten gebrochenen rothen Strahlen werden um diesen Winkel von $42^1/_2{}^0$ von der ursprünglichen Richtung des Sonnenstrahls abgelenkt und würden darum bei höherem Sonnenstande über unserem Auge hinweggehen.

Aber die Pracht des Regenbogens ist noch mannigfaltiger. Dort über ihm spannt sich ein zweiter Regenbogen, zwar minder deutlich und schön und die Farben in umgekehrter Ordnung zeigend, gleichsam ein Spiegelbild des ersteren. Dafür hielt man ihn in der That lange Zeit, wie man überhaupt seit Aristoteles — denn

mit ihm beginnt bereits die Wissenschaft des Regenbogens — die ganze Erscheinung für eine zusammengesetzte, verzerrte und verwirrte Spiegelung der Sonne in den zahllosen Regentropfen hielt. Anders lehrt es die Wissenschaft heute. Tausende von Sonnenstrahlen treffen zwar jeden Regentropfen, aber nur wenige gelangen durch Brechung und Zurückwerfung in unser Auge; die meisten gehen wirkungslos und ungesehen hindurch. Einige Strahlen (S a) aber, die von unten in den Regentropfen ein-



treten und von seiner innern spiegelnden Fläche nach b c zurückgeworfen werden, verlassen nicht ohne Weiteres den Tropfen. Sie werden noch einmal nach innen (nach c d) zurückgeworfen und können so, noch einmal abgelenkt, in das Auge des Beschauers gelangen. Durch diese doppelte Brechung und Zurückwerfung werden diese Strahlen freilich geschwächt, aber immerhin erscheinen sie farbig und zwar in umgekehrter Reihenfolge als vorher, da die am meisten abgelenkten Strahlen, die rothen, hier die oberste, die am meisten gebrochenen, die violetten Strahlen, die unterste Stelle einnehmen.

Doch auch mit diesem zweiten Regenbogen ist der Farbenreichthum dieser herrlichen Himmelserscheinung für das aufmerksame Auge noch nicht erschöpft. Unter dem prächtigen Roth des innern Regenbogens gewahren wir oft drei bis vier abwechselnde Säume des schönsten Purpur oder Grün, grade da also, wo nach den eben angestellten Betrachtungen die Brechungswinkel der Sonnenstrahlen ihren Eintritt in das Auge nicht mehr gestatten sollten. In der That ist es auch nur die Wirkung einer Farbenzerstreuung, welche durch außerordentlich kleine Tröpfchen hervorgebracht wird, ganz in ähnlicher Weise, wie die feinen Dunstbläschen unsrer nordischen Atmosphäre das schöne Himmelsblau mit weißem Schimmer trüben. Darum fehlt diese Erscheinung dem Regenbogen der Tropen, deren Regengüsse freilich mit den unsrigen wenig Aehnlichkeit haben, und deren Tropfen von Wallnußgröße wohl eine von uns nicht geahnte Farbenpracht erzeugen, aber zur Hervorbringung solcher Farbensäume durch Lichtzerstreuung nicht geeignet sind. Darum sehen wir ferner diese Farbensäume ganz besonders schön in dem obern Theile des Regenbogens; — denn, so sehr es auch der gewöhnlichen Volksansicht widersprechen mag, es regnet auf den Dächern nicht grade so viel als auf der Straße, weil die Wolke nicht allein, sondern die ganze feuchte Luftschicht zwischen der Wolke und Erde regnet, so daß die fallenden Tropfen in der untern Luftschicht beständig wachsen und endlich eine Größe erlangen, welche sie jener eigenthümlichen Farbenerscheinungen unfähig macht.

Seltsam mag es uns klingen, wenn die Naturwis-

senschaft behauptet, daß die Natur alle diese Regenbogenpracht für jedes Auge besonders zaubert, daß kein Auge den Regenbogen des andern sieht. Dennoch ist es eine einfache Folgerung unserer Betrachtung. Für jedes Auge muß es eine andere Gruppe von Regentropfen sein, welche ihm den farbigen Strahlenkegel zusendet. Es ist also gar nichts Anderes, als wenn von zwei Beobachtern derselbe Thautropfen dem einen in rothem, dem andern in grünem Lichte funkelt.

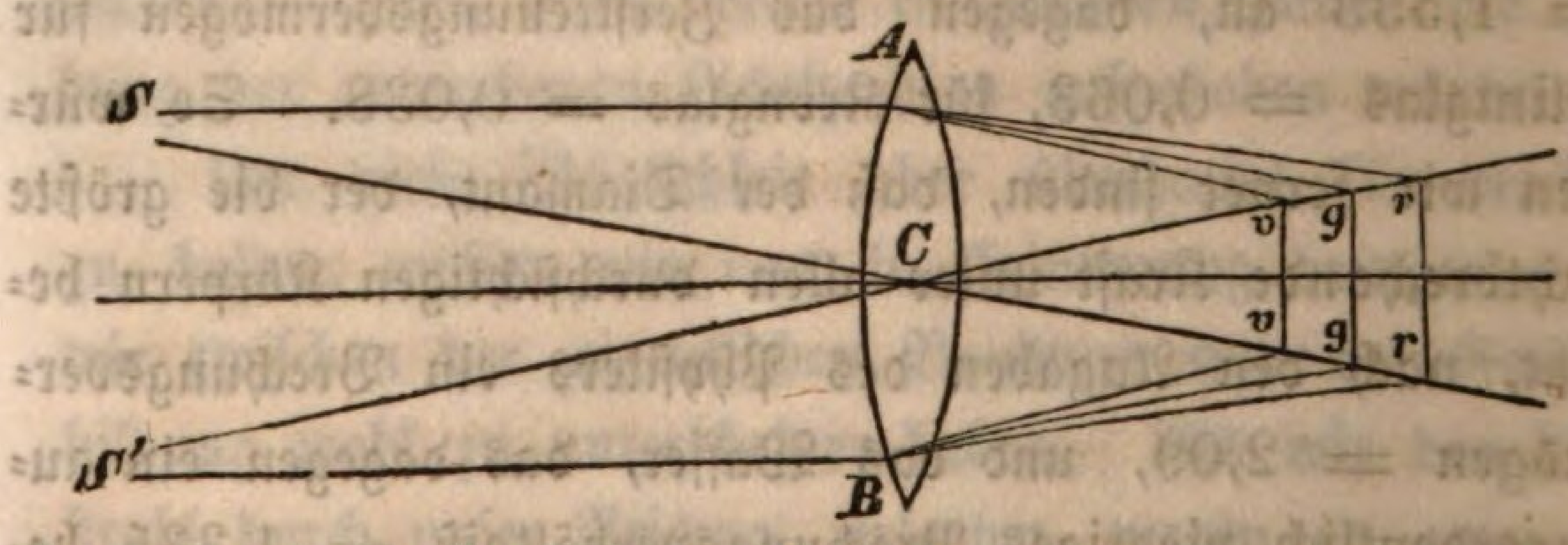
Das Kind meint den Regenbogen an den Himmel gemalt, und wer sich die Kindheitserinnerungen bewahrt hat, wird wissen, wie oft ihn die Lust anwandelte, zu den Füßen des Regenbogens zu eilen. Auch die Wissenschaft hat ihre Kindheit gehabt und wird sie haben, so lange die Natur ihr Mährchen erzählt und Räthsel aufgiebt. Zwei Jahrtausende hatten die Philosophen sich um die Erklärung dieser Himmelserscheinung bemüht, und doch glaubte noch vor 70 Jahren der große Philosoph Kant und mit ihm mancher Naturforscher, daß man zu den Füßen des Regenbogens gelangen könne. Jetzt, da man den Regenbogen in seinem Auge weiß, ist man viel eher geneigt, alles ihm Aehnliche für eine Täuschung, für ein Blendwerk seiner Augen zu halten; und in der That geht man ziemlich sicher, wenn man die Ursache einer solchen Farbenerscheinung stets in irgend einem Hindernisse sucht, welches die gradlinige Fortbewegung des Lichts stört. Ja, dies Hinderniß liegt nicht einmal immer so fern, als in jenen Tropfen und Dunstbläschen der Regenwolke, sondern nahe vor unsern Augen und in ihnen selbst.

Jede Farbenerscheinung weist uns auf eine Brechung des Lichts hin, auf einen Durchgang des Lichtstrahls durch einen lichtbrechenden Körper, sei es nun, daß die gebrochenen Strahlen unmittelbar unser Auge treffen oder erst, nachdem sie von einer innern Fläche des Körpers zurückgeworfen worden, wie bei den sogenannten undurchsichtigen Körpern um uns herum. Gern kehrten wir den Satz nun auch um und sagten: Jede Lichtbrechung ist auch mit einer Farbenerscheinung verbunden. Aber es sind zu viele Erfahrungen, die diesem Satze offenbar zu widersprechen scheinen. Unser eignes Auge ist ein Zeuge dagegen; es ist ein lichtbrechender Apparat, durch dessen vereinigende Wirkung die Lichtstrahlen der Außenwelt erst zu den Nerven der Netzhaut gelangen können, um hier Bilder zu erzeugen, — und diese Bilder sind keineswegs gefärbt, sie spiegeln treu und wahr nicht nur die Formen, sondern auch die Farben der Außenwelt. Eine Möglichkeit wäre indeß denkbar, daß es eigenthümliche Einrichtungen gäbe, durch welche in gewissen Fällen die Färbung der gebrochenen Lichtstrahlen aufgehoben würde.

Um diese Möglichkeit aber überhaupt für denkbar zu halten, müssen wir uns in Erinnerung bringen, daß wir zwischen der eigentlichen Brechung und der Farbenbildung wohl zu unterscheiden haben. Als wir den Lichtstrahl durch unser Prisma zerlegten, waren es zwei wesentlich verschiedene Erscheinungen, die uns entgegentraten. Die eine war die Ablenkung des Sonnenbildes von seiner frühern Stelle, die andere das in die Länge Ziehen desselben. Auf jener beruhte die Brechung, auf diesem die

Zerstreuung der farbigen Strahlen. Das Brechungsvermögen eines Körpers läßt sich also durch die Ablenkung der mittlern Strahlen des prismatischen Bildes, das Zerstreuungsvermögen durch den Unterschied in der Ablenkung der äußersten Strahlen, der rothen und violetten, bestimmen. Beide Erscheinungen zeigen sich zwar mit einander verbunden, aber es besteht durchaus keine weitere Abhängigkeit zwischen ihnen. Davon würden wir uns überzeugen, wenn wir Prismen von andern Stoffen zu unserm damaligen Versuche anwendeten. Wir würden finden, daß zwei gleiche Prismen von Flintglas und Kronglas zwar fast dasselbe Brechungsvermögen besitzen, d. h. das Sonnenbild fast um denselben Winkel von seiner Stelle rücken, daß sie aber ein durchaus verschiedenes Zerstreuungsvermögen zeigen, daß jenes ein fast doppelt so langgezogenes, farbiges Bild als dieses erzeugt. Der Physiker, der diese Verhältnisse gemessen hat, giebt das Brechungsverhältniß für Flintglas = 1,614, für Kronglas = 1,533 an, dagegen das Zerstreuungsvermögen für Flintglas = 0,063, für Kronglas = 0,038. So würden wir ferner finden, daß der Diamant, der die größte lichtbrechende Kraft unter allen durchsichtigen Körpern besitzt, nach den Angaben des Physikers ein Brechungsvermögen = 2,09, und das Wasser, das dagegen ein außerordentlich niedriges Brechungsverhältniß = 1,335 besitzt, doch ein fast völlig gleiches Zerstreuungsvermögen = 0,039 zeigen, d. h. daß beide zwar völlig gleich breite prismatische Bilder, aber durchaus an verschiedenen Stellen erzeugen.

Bei der steten Verbindung dieser beiden Eigenschaften in allen lichtbrechenden Körpern erscheint uns die Abwesenheit von Farbenerscheinungen bei irgend welcher Art des Sehens ein unbegreifliches Wunder, und nur der Unterschied in der Größe beider Eigenschaften wird uns die Aufhebung der einen in ihren Wirkungen erklären. Da wir das Auge und seine lichtbrechenden Flüssigkeiten nicht leicht selbst zum Gegenstand unserer Untersuchungen machen können, nehmen wir unsere Zuflucht zu den künstlichen Nachahmungen des Auges, zu den optischen Instrumenten, die durch die vergrößerten Bilder, die sie gewähren, uns den Blick in die Welt des Unendlichfernen und Kleinen eröffneten. Die lichtbrechende Kraft war es, durch welche die Linsen dieser Instrumente ihre vergrößernde Kraft erhielten. Aber mit dieser Brechung verknüpft sich nun, wie wir sehen, die Farbenzerstreuung, und da jede Farbe ein anderes Brechungsverhältniß hat, und der Ort, an dem das Bild durch eine Linse gebildet



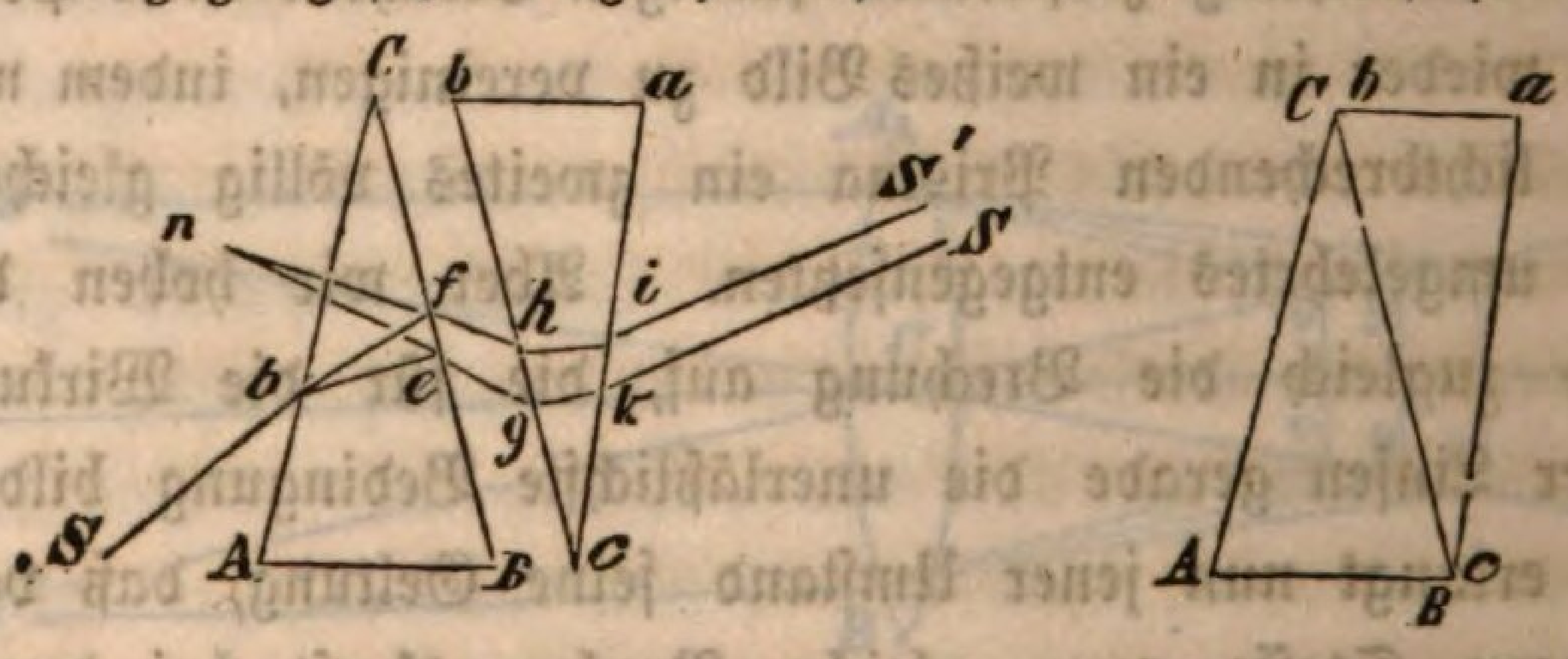
wird, von dem Brechungsverhältniß abhängt, so werden von einem Körper, der sein zusammengesetztes Licht auf die Linse sendet, unzählig viele gefärbte Bilder entstehen, die alle auf der Axe der Linse hinter einander liegen. Wählen wir eine nach beiden Seiten erhabene

sogenannte Sammellinse AB, und lassen wir von einem weißen Gegenstande MN Strahlen auf dieselbe fallen, so wird, da die violetten Strahlen die stärkste, die rothen Strahlen die schwächste Brechbarkeit besitzen, etwa in DS ein rothes, in ef ein gelbes, in gh ein violettes Bild erscheinen, während in den Zwischenpunkten Bilder aller Farben sich zeigen. Halten wir nun einen Schirm in die Gegend von gh, so treffen hier Strahlen aller Farben zusammen und erzeugen ein Bild, dessen Mitte weiß und das von einem Farbensaum umgeben ist, in welchem die rothe Färbung durch alle Farben des Spectrums bis ins Violett übergeht.

Diese farbige Umsäumung der Bilder muß natürlich ihre Helligkeit und Deutlichkeit wesentlich beeinträchtigen, und die Mittel zu ihrer Beseitigung sind gewiß von hoher Bedeutung für die Fortschritte der optischen Kunst. Wir haben nun selbst bereits ein Mittel angewandt, um die bei der Brechung zerstreuten farbigen Strahlen eines Prismas wieder in ein weißes Bild zu vereinigen, indem wir dem lichtbrechenden Prisma ein zweites völlig gleiches, aber umgekehrtes entgegensetzten. Aber wir hoben dadurch zugleich die Brechung auf, die für die Wirkung unsrer Linsen gerade die unerläßlichste Bedingung bildet. Hier erlangt nun jener Umstand seine Geltung, daß verschiedene Stoffe ganz gleiche Brechungskraft bei durchaus verschiedenem Zerstreuungsvermögen besitzen können, und als zwei solche Stoffe lernten wir bereits zwei Glasarten, das Kron- und Flintglas kennen.

Diese Unabhängigkeit des Brechungsvermögens der

Körper von ihrem Farbenzerstreuungsvermögen war es, die dem Scharfblick des großen Newton entgangen, in Dollond 1758 den Gedanken zu jenen herrlichen achromatischen Fernröhren entzündete, die in wenigen Jahrzehnden mehr Licht in die dunklen Himmelsräume ergossen, als frühere Jahrhunderte. Er benutzte die Verbindung von Kronglas und Flintglas, um Linsen zu erzeugen, welche kaum etwas von ihrer brechenden Kraft, wohl aber wenigstens zum größten Theile die Eigenschaft verloren hatten, ihre Bilder mit Farben zu umsäumen. Zwei gleiche Prismen von Kronglas und Flintglas zeigen nämlich in gleichem Abstande ihre Farbenspectra fast an derselben Stelle, aber das Spectrum des letztern wird fast doppelt so lang sein, als das des erstern. Sollen daher beide Spectra gleiche Länge erhalten, so dürfen wir nur den brechenden Winkel des Flintglasprismas etwas kleiner machen. Verbinden wir dann beide Prismen, so daß ihre brechenden Winkel eine entgegengesetzte Lage haben, ABC und abc, so wer-



den ihre Farben, da sie nun in umgekehrter Lage übereinanderfallen, einander aufheben, während die Brechung nur so weit verringert ist, als die Neigung der beiden brechenden Glasflächen verkleinert wurde. Allerdings würde für eine völlige Aufhebung der Farben

eine genaue Uebereinstimmung der beiden Spectra in den Verhältnissen aller ihrer Farben erfordert werden. Da eine solche aber in der That nicht stattfindet, das Spectrum des Flintglasprismas z. B. etwas weniger Roth und etwas mehr Blau enthält, als das des Kronglasprismas, so begnügt man sich damit, zunächst nur diejenigen Farbestrahlen zu entfernen, die das lebhafteste Licht geben und zugleich möglichst weit von einander abstehen, namentlich also Orange und Blau. Dadurch werden auch die benachbarten Farben größtentheils ausgeglichen, und die übrigbleibenden bilden nur noch Grün und schwaches Purpur. Durch neue Prismen kann man auch diese Ränder mehr und mehr entfärben, so daß endlich ein letzter schwacher Rand auch die schärfsten Beobachtungen nicht mehr zu stören vermag. Statt dieser Verbindung von Prismen tritt bei den Fernröhren natürlich eine Verbindung von Linsen ein und zwar einer erhabenen oder Sammellinse von Flintglas mit einer hohlen oder Zerstreuungslinse von Kronglas. In dem Auge aber übernehmen eigenthümliche Flüssigkeiten die Stelle dieser Gläser, und nur die lebhafte Färbung der Ränder einer feinen Spalte, durch welche wir nach einem fernen hellen Gegenstande sehen, verräth uns noch, daß auch das Auge nicht ganz vollkommen die Farben aufzuheben vermag, welche durch die Brechungen in ihm erzeugt werden, auf denen die Entstehung seiner Bilder und der natürliche Vorgang des Sehens beruht.

Wenn wir vorhin als ein allgemeines Gesetz hinstellen zu können glaubten, daß, wo eine Brechung des

Lichts eintritt, auch Farbenerscheinungen sich zeigen müssen, so scheinen wir jetzt allerdings eine Bestätigung gefunden zu haben. Denn grade die scheinbaren Ausnahmen haben sich als viel verwickeltere Erscheinungen desselben Gesetzes dargestellt. Wenn wir aber die Frage aufwerfen, ob diese Brechung nun auch die einzige Art der Farbenzerstreuung sei, so dürften wir mit der Antwort noch billig zögern. Bei jeder Brechung wird ja schon das Dasein farbiger Strahlen vorausgesetzt, und sie ist es nur, welche ihre Sonderung bewirkt. Wäre es nun nicht möglich, daß auch andere Vorgänge in der Natur eine solche Sonderung farbiger Lichtstrahlen veranlaßten, daß vielleicht sogar selbstständig, ohne sich mit einander zu mischen, ohne also erst einer Sonderung zu bedürfen, solche Farbenstrahlen sich erzeugten? Daß das letztere geschehen kann, dafür spricht ja die farbige Natur aller unsrer künstlichen Lichtquellen. Daß aber auch die erstere Möglichkeit eine Berechtigung hat, darauf möchte die Wellennatur des Lichts hinweisen, vermöge deren es ja so mannigfacher, sich kreuzender und störender Bewegungen fähig ist.

Aber das Roth der Blumen, das Grün des Grases, was haben sie mit diesem vergänglichen Schein der prismatischen Farben zu thun? Welches geheimen Zaubermittels kann die Natur sich bedienen, um die tausendfach sich kreuzenden Lichtwellen zu zerlegen und bald hier nur diese, dort nur jene farbigen Strahlen zur Geltung kommen zu lassen? Das Geheimniß ruht in den Eigenthümlichkeiten des innern Baues und der Oberflächen der Körper, welche das Licht durchströmt, oder von denen es

zurückprallt. So wie es Körper giebt, welche das Licht ganz oder theilweise durchlassen, durchsichtige oder durchscheinende, so giebt es andere Körper, welche gar kein Licht hindurchlassen und dann, je nachdem sie das auffallende weiße Licht ganz oder gar nicht oder nur in einzelnen Farben zurückwerfen, weiß, schwarz oder farbig erscheinen. Freilich giebt es weder vollkommen weiße, noch vollkommen schwarze Körper in der Natur, und auch die farbigen Körper zeigen niemals ganz einfache, sondern stets mehr oder weniger zusammengesetzte Farben. Schon der Blick durch das Prisma überzeugt uns davon. Ein vollkommen rother Körper dürfte nur rothes Licht reflectiren und müßte alle andern Strahlengattungen verschlucken. Aber auch das reinste Roth zeigt durch das Prisma farbige Ränder und deutet damit die Anwesenheit verschieden brechungsfähiger Strahlen an. Die Auswahl der farbigen Strahlen, welche von einem Körper zurückgeworfen, und derer, welche verschluckt werden, seine eigenthümliche Färbung also hängt offenbar von Verschiedenheiten im innern Bau ab, welche der Wissenschaft freilich noch unergründlich geblieben sind. Der innere Bau eines Körpers muß ein durchaus andrer sein, wenn er nur orangefarbenes Licht zurückwirft, als der eines anderen, der nur rothes und gelbes, oder eines dritten, der rothes, gelbes und orangefarbenes Licht zurückwirft; obgleich alle diese drei Körper in der weißen Tagesbeleuchtung uns als vollkommen gleichfarbig erscheinen können, weil das Auge die Eindrücke vermischt.

Da die natürlichen Farben der Körper ihren Ur-

sprung allein den farbigen Strahlen des sie beleuchtenden Lichtes verdanken, so ist die Natur dieses Lichts von wesentlichem Einfluß darauf, und mit der Aenderung der Beleuchtung muß sich auch das äußere Ansehn, die Färbung der Gegenstände verändern. Strahlen, die in dem beleuchtenden Lichte nicht vorhanden sind, kann kein Körper zurückwerfen. Nun ist aber alles künstliche Licht mehr oder weniger gefärbt, d. h. es enthält die eine oder andere Farbe gar nicht oder doch in geringem Grade. Die Flammen unserer Lampen und Kerzen enthalten weniger Violett und Blau als das Sonnenlicht; sie erscheinen deshalb gelb oder orange gefärbt. Daher darf es uns nicht wundern, daß wir Abends nicht im Stande sind, Grün und Blau zu unterscheiden. Nur das Licht, das von weißglühenden Körpern, also den höchsten Temperaturen, die wir erzeugen können, ausgestrahlt wird, kommt dem weißen Sonnenlichte nahe. Vor einigen Jahren hat ein amerikanischer Physiker, Draper, Untersuchungen über das Licht glühender Körper angestellt, und diese haben auf einen merkwürdigen Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Färbung des Glühlichts geführt. Bei den verschiedenartigsten Körpern, Platin, Eisen, Blei, Kohle, tritt das Leuchten bei derselben Temperatur ein und beginnt stets zuerst mit dem rothen, also am wenigsten brechbaren Lichte, zu dem erst bei zunehmender Temperatur allmälig die mehr brechbaren Strahlen bis zu den violetten hinzutreten. Nicht allein die Intensität, die Helligkeit des Lichts, sondern auch die Mannigfaltigkeit seiner Strahlen wird also durch die Temperaturerhöhung befördert.

Wie im Verkehr mit Menschen derjenige sich den meisten Täuschungen aussetzt, der seine Kenntniß der Menschennatur nur aus der Beobachtung Einzelner, ihm zufällig Begegnender schöpft, so geht es uns auch im Umgange mit der Natur. Wer nur aus dem Regenbogen das Wesen des Lichts ergründen will, der wird sich bald von seinem schillernden Schein betrogen sehen. Aber so wenig man auf Reisen zu gehen und berühmte Menschen aufzusuchen braucht, um ihre Natur zu studiren, so wenig brauchen wir in die Fernen der Natur zu schweifen und ihre seltenen oder künstlichen Erscheinungen aufzusuchen, um die Gesetze ihres Wirkens kennen zu lernen. Wir dürfen nur um uns, zu unsern Füßen schauen, da findet sich ein reiches Material zu Beobachtungen. Hier wiegt sich ein Schmetterling auf einer Blume. Beide wetteifern in Farbenpracht, und als ob das bewegliche Leben des Schmetterlings der gefesselten Blume den Sieg nicht lassen wollte, zaubert es aus seinem dunkeln Blau alle möglichen Farben, Grün, Roth, Violett, immer eine mit der andern schnell vertauschend, als sei ihm noch keine recht, um neben diesen ruhigen Farben der Blume zu bestehen. Dort eilt ein Laufkäfer durch das Gras, und seine grünen Flügeldecken scheinen in ihrem Farbenspiel wieder die grüne Pflanzenwelt mit dem starren Reiche der Metalle zu vermitteln; so lebhaft strahlen sie bald in Goldglanz, bald im Blau des Azurs. Das erinnert uns an die herrlichen Regenbogenfarben der Perlmutter, wie an den Schimmer der seidenen Kleider, in welchen die Damen unserer Salons unbewußt ihre innere Hohlheit spiegeln.

Wir erinnern uns, daß wir heute Morgen bei unserm Verweilen in jener Schmiede, die uns eine so reiche Schule der Natur wurde, eine andere ähnliche Beobachtung machten. Der Schmied tauchte seinen glühenden Eisenstab in ein Gefäß mit Wasser, und augenblicklich bildete sich auf der Wasserfläche ein zarter Ueberzug, der in den reinsten Farben des Regenbogens spielte.

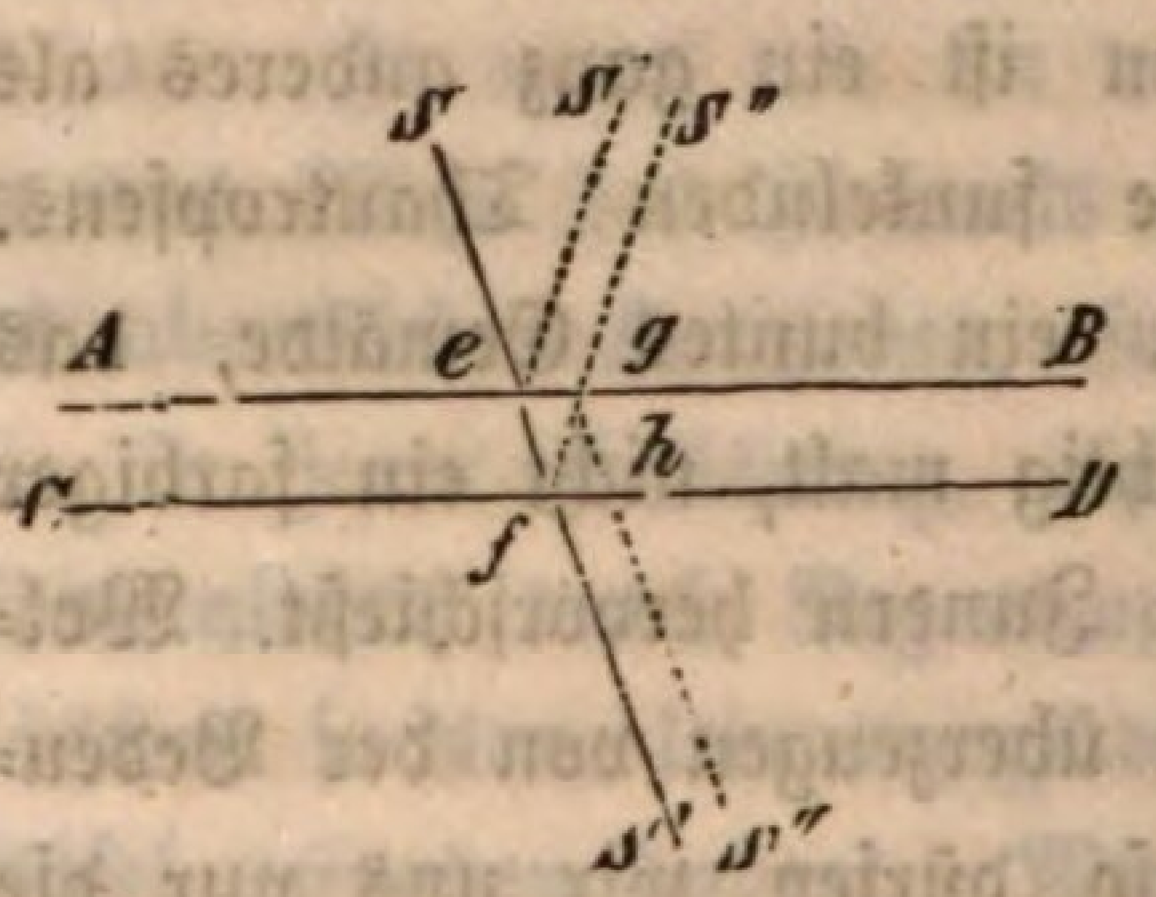
Bei diesen Erscheinungen sehen wir uns von unsrer bisherigen Erklärungsweise verlassen. Hier kann die Brechung mindestens nicht mehr allein wirksam sein, es sind ja fast nur undurchsichtige Körper, welche diese Farben bieten. Ja wenn wir an den Regenbogen zurückdenken, an das Blau des Himmels und die gelbrothe Färbung des abendlichen Horizonts, so müssen wir gestehen, daß wir in jener Erklärung, die wir in der Brechung des Sonnenlichts durch Regentropfen oder Gas- und Dunstbläschen suchten, keineswegs die volle Lösung dieser Naturräthsel gefunden haben. Wir müssen uns erinnern, daß wir die bekannte Erscheinung der Seifenblasen zu Hülfe riefen und aus ihr jene gelben und blauen Farben ableiteten, welche bald das auffallende, bald das durchfallende Licht in den Gasbläschen der Atmosphäre erzeugen sollte, daß wir aber um diese Seifenblasen selbst uns nicht weiter kümmerten, gleich als ob es genug gewesen wäre, daß wir als Kinder schon ihr farbiges Spiel geschaut und bewundert hatten. Wir wollen aber eben nicht mehr Kinder sein, und wenn wir es bis zu diesem Tage der Natur gegenüber noch waren. Wir wollen nicht mehr bloß schauen, sondern das Spiel soll sich uns

auflösen in eine gesetzlich geordnete und vernünftig begründete Reihe von Erscheinungen. Wir müssen also zu unsern Seifenblasen zurückkehren.

Solch eine Seifenblase ist nichts als von einer äußerst dünnen Seifenwasserschicht umschlossene Luft. Diese Luft aber kann nicht die Ursache des bunten Farbenspiels sein; denn eine Brechung giebt es nur bei dem Durchgange des Lichtstrahls durch verschiedene Mittel. Der farbenerzeugende Vorgang kann also allein in der dünnen Seifenwasserschicht stattfinden. Aber dieser Vorgang kann auch nicht in einer bloßen Brechung bestehen. Denn das Farbenspiel dieser Seifenblasen ist ein ganz anderes als das eines im Sonnenstrahle funkelnden Thautropfens. Hier ist es ein Wiederschein, ein buntes Gemälde, das sich auf der dünnen Haut flüchtig malt, nicht ein farbiger Blitz, wie dort, der aus dem Innern hervorschießt. Wollen wir uns aber noch mehr überzeugen von der Bedeutung dieser dünnen Schicht, so dürfen wir uns nur die Farbenerscheinung in dem Kühlgefäße des Schmiedes zurückrufen, die offenbar nur der dünnen Oxydschicht ihr Entstehen verdankte, die sich beim Eintauchen des glühenden Eisens bildete und plötzlich farbiges Leben auf die klare, farblose Wasserfläche zauberte. Wir hätten sogar in noch wunderbarerer Pracht dieses Schauspiel hervorrufen können, wenn wir einen Tropfen Terpentinöl auf das Wasser fallen ließen. Augenblicklich würde es sich in einer außerordentlich dünnen Schicht über das Wasser verbreitet haben, und der Himmel, der sich auf dieser durch beständige Verdunstung immer mehr sich ver

dünnenden Schicht gespiegelt hätte, würde uns ein Farbenspiel geboten haben, das an Glanz und Lebhaftigkeit des Wechsels noch unsre Seifenblasen überboten hätte.

Welche Vorgänge können in so außerordentlich dünnen Schichten stattfinden? Wir müssen uns an die wunderbare Kleinheit und Geschwindigkeit der Lichtwellen erinnern, um zu begreifen, daß für den Lichtstrahl auch die dünnste Schicht immer noch ein Körper ist, und daß die Grenzen eines Körpers nicht nahe genug gerückt werden können, daß nicht der Lichtstrahl noch zwischen ihnen Raum zu mannigfaltigen Bewegungen und Veränderungen fände.



Die zarte Terpentinschicht ABCD ist für den Lichtstrahl wie jeder andere Körper. Er wird zu einem Theile von ihrer äußeren Grenzfläche AB zurückgeworfen, zum andern durchdringt er sie und wird gebrochen. Der gebrochene Lichtstrahl ef erfährt aber dasselbe Schicksal an der zweiten Grenzfläche der Schicht, wird hier zu einem Theile abermals zurückgeworfen, zum andern durchgelassen und beim Uebergange in das Wasser gebrochen. Dieser von der Hinterseite der Schicht zurückgeworfene Theil des Lichtstrahls gelangt nun zur vorderen Fläche zurück, wird hier abermals getheilt, zurückgeworfen und durchgelassen, und so treten zwei einander außerordentlich nahe und unter einander parallele Lichtstrahlen eS′ und gS″ von der Fläche der dünnen Schicht zurück in unser Auge, während zwei

andere gleichfalls parallele Strahlen fS′ und hS″ die Schicht durchdringen und aus ihr heraustreten.

Was hat nun diese Verdoppelung der zurückgeworfenen oder gebrochenen Lichtstrahlen mit dem bunten Farbenspiel zu thun? Wir müssen uns wieder erinnern, daß Lichtstrahlen in der Sprache der Wissenschaft etwas anderes bedeuten, als in unsrer gewöhnlichen Sprache, daß sie hier die Richtung von Lichtwellen bezeichnen. Es sind also zwei Lichtwellen, die sich an der spiegelnden Fläche der Schicht gebildet haben, und die daher nothwendig, da ja an jedem Punkte der Schicht derselbe Vorgang stattfindet, mit einander in Berührung kommen müssen. Auch das freilich scheint von keiner Bedeutung zu sein, da ja beide Lichtwellen die gleiche Richtung verfolgen, also einander nicht kreuzen und stören können.

Aber wir müssen weiter bedenken, daß Wellen Schwingungserscheinungen sind, bei denen die Geschwindigkeit der schwingenden Theilchen nicht allein, sondern auch die Richtung ihrer Schwingung, d. h. die Form der Welle, der Wechsel von Berg und Thal in Betracht kommt. Wir wissen ja aus der allgemeinen Wellenlehre, daß auch zwei völlig gleiche Wellen, wenn sie mit Berg und Thal zusammentreffen, sich wieder aufzuheben vermögen. Es fragt sich also nur, ob eine ähnliche Erscheinung auch hier einzutreten vermag.

Nach dem allgemeinen Gesetz der Interferenzen müssen zwei in gleicher Richtung fortschreitende Wellen beim Zusammentreffen sich verstärken oder aufheben, je nachdem ihre zusammentreffenden Theile sich in gleichen oder ent-

gegengesetzten Schwingungszuständen befinden, je nachdem also die von den Wellen durchlaufenen Wege sich um ganze oder halbe Wellenbreiten unterscheiden. Wir haben dieses Gesetz für die Wellen des Sees wie für den Schall bestätigt gefunden. Jetzt regt es in uns die seltsame Erwartung an, Licht durch Licht sich in Dunkel umwandeln zu sehen. Bestätigt sich unsre Erwartung, so ist uns damit der vollste und unumstößlichste Beweis für die Wellennatur des Lichts und die innere Einheit der Natur in äußerlich so verschiedenartigen Erscheinungen gegeben.

Doppelte Lichtstrahlen sahen wir von unsrer dünnen Schicht ausgehen, mochten wir die zurückgeworfene oder die durchgelassene betrachten. Beide Lichtwellen schreiten in gleicher Richtung fort, aber die Wege, die sie durchlaufen, sind nicht die gleichen. Der eine S'e wird unmittelbar zurückgeworfen, während der andere S''g erst zweimal die Dicke der Schicht durchlaufen mußte. Von der Dicke der Schicht wird es also abhängen, ob die Wellen einander verstärken oder schwächen sollen. In dem einen Falle muß diese Dicke als der halbe Unterschied der Wellenwege halbe, im andern Viertel-Wellenbreiten des Lichts betragen. Nun enthält aber das weiße Sonnenlicht verschiedene farbige Strahlen, die sich durch die Geschwindigkeit ihrer Wellen, also durch ihre Wellenbreiten unterscheiden. Darum kann eine bestimmte Dicke der Schicht auch nur für eine einzige Farbe die Bedingung der Interferenz genau erfüllen; alle andern Farben müssen sich darum schwächen oder aufheben, wenn die eine Farbe verstärkt wird. Bei einer gleichmäßig dicken, völlig

farblosen Schicht würde also durch die Zurückwerfung des Lichts immer nur eine einzige, von ihrer Dicke abhängige Farbe erzeugt werden, die aus dem Zusammenwirken der sich am meisten verstärkenden Lichtwellen hervorgeht.

Bei den durchgelassenen Lichtstrahlen tritt derselbe Vorgang ein. Auch hier treten zwei in gleicher Richtung fortschreitende, in ihren Wegelängen um die doppelte Dicke der Schicht verschiedene Wellen hervor. Dennoch wird die Erscheinung eine andere. Die zweite Lichtwelle hS″ ward, ehe sie die Schicht verließ, an der Wasserfläche, also an der Grenze des dichteren Mittels zurückgeworfen. Es geschah ihr hier, was einer elastischen Kugel geschieht, wenn sie gegen eine größere ruhende Kugel trifft. Sie erhält allerdings ihre Bewegung von der ruhenden Masse zurück, aber nicht ganz unbeschadet; es ist eine Verzögerung eingetreten. Solch eine Verzögerung tritt also auch ein, wenn Aetherschichten von verschiedenen Dichtigkeiten auf einander stoßen, wenn Lichtwellen aus dem dünnen Mittel in das dichtere zurückgeworfen werden. Diese Verzögerung um eine halbe Wellenbreite ist es, welche die Erscheinung des durchgehenden Lichts bei dünnen Schichten wesentlich von der des zurückgeworfenen unterscheidet. Der Unterschied der Wege wird für die beiden durchgelassenen Lichtwellen um diese halbe Wellenlänge vergrößert, und so kommt es, daß wenn bei einer bestimmten Dicke der Schicht die einer bestimmten Farbe entsprechenden Wellen im zurückgeworfenen Lichte sich verstärken, sie im durchgelassenen Lichte sich geradezu aufheben und damit ihre complementäre Farbe zur Gel-

tung kommen lassen. So also erklärt es sich uns, warum so oft durchsichtige Körper eine andere Farbe im auffallenden als im durchfallenden Lichte zeigen, warum der Wasserdampf der Locomotive, die Dunstbläschen der Atmosphäre bald in gelben, bald in blauen Farben erscheinen können.

Die Abhängigkeit der Farbe von der Dicke der dünnen Schicht ist es, welche uns das bunte, wechselvolle Farbenspiel der Seifenblase oder der dünnen Oxydhaut auf einer Wasserfläche erklärt. Jeder Dicke der Schicht entspricht eine bestimmte Farbe, und diese muß sofort in eine andere übergehen, wenn die Dicke der durchsichtigen Schicht sich ändert, wenn bei fortgesetztem Blasen das dünne Häutchen von Seifenwasser, welches die Blase bildet, sich ausdehnt. Aber in dieser Thatsache liegt zugleich die Veranlassung zu einer der großartigsten Thaten der neuen Wissenschaft. Wer hätte je beim Anblick dieses phantasievollen Knabenspiels den Gedanken zu fassen gewagt, daß es einst dem Physiker ein Mittel in die Hand geben werde, den zauberhaften Flug des Lichts, seine unendlich kleinen Wellen zu messen und jene zarten Schwingungen zu zählen, deren Billionen in jeder Secunde den Aether und die Netzhaut des Auges erschüttern! Wenn die Wissenschaft die Wellen der Töne mißt, die wir allenfalls mit dem Auge wahrnehmen können, wenn sie das musikalische Kunstwerk in Zahlen und Zahlenverhältnisse auflöst, so liegt das noch im Bereiche unsrer Fassungskraft; wenn sie aber die Wellen mißt, wo die naive Anschauung sie nicht einmal ahnet, wenn sie in diesen bunten Wellen, die wir Far-

ben nennen, selbst für die feinsten Unterschiede noch Zahlen zu finden weiß und dem Auge Gesetze diktirt, unter welchen es seine Eindrücke zu empfangen hat, so gränzt dies an das Unbegreifliche. Dennoch muß sich der Gedanke an diese Lichtwellenmessung unsrer Betrachtung von selbst aufdrängen.

Wenn jeder Farbe eine bestimmte Dicke der dünnen Schicht entspricht, und das Verschwinden dieser Farbe stets auf eine Vergrößerung des Unterschiedes zwischen den Wegen der durch ihre Interferenz diese Farbe erzeugenden Lichtwellen um eine halbe Wellenbreite hindeutet, und da diese Vergrößerung des Unterschieds, wenn sie von der dünnen Schicht herrühren soll, eine Zunahme ihrer Dicke um eine Viertelwellenlänge voraussetzt; so muß es begreiflicher Weise möglich sein, aus dem Erscheinen und Verschwinden bestimmter Farben in solchen Schichten und aus der jedesmaligen Dicke dieser auf die Wellenbreite der Farben selbst zu schließen. Vorausgesetzt wird freilich, daß wir einerseits im Stande sind, die Farbenbildung in einer solcher Schicht willkürlich zu beherrschen, andrerseits die geringen Unterschiede in der Dicke der Schicht selbst zu messen.

Einen zuverlässigeren Stoff als die veränderliche Seifenblase müssen wir jedenfalls für eine solche Untersuchung haben. Da der Stoff einer solchen dünnen Schicht durchaus gleichgültig, und nichts als ein dünnes durchsichtiges Mittel erforderlich ist, so wird eine Luftschicht zwischen zwei Glasplatten offenbar dieselben Dienste, wie jene Orydschicht oder Seifenwasserhaut, leisten. Die beiden

Glasplatten geben uns aber das Mittel ab, die Dicke der Luftschicht beliebig zu begrenzen. Wählen wir daher eine möglichst schwachgekrümmte Linse von der Gestalt eines Brennglases und legen diese auf eine ebene Glasplatte, so wird die Dicke der Luftschicht zwischen beiden von ihrem Berührungspunkte an nach dem Umfange der Linse hin in außerordentlich langsamer Weise zunehmen und einen Spielraum für das Entstehen aller möglichen Farben bieten. Lassen wir nun das Tageslicht in diesen etwas an einander gepreßten Gläsern sich spiegeln, so erblicken wir in der That da, wo die Gläser einander berühren, einen dunkeln Fleck, der von den herrlichsten regenbogenfarbigen Ringen umgeben ist. Das sind die Newton'schen Farbenringe, die in jenem großen Streite über die Natur des Lichts eine bedeutende und entscheidende Rolle gespielt haben.

Die Erklärung dieser Erscheinung, die den Zeitgenossen Newtons großes Kopfzerbrechen verursachte, ist für uns sehr einfach. Jede Lichtwelle wird, wenn sie in einem stärker brechenden Mittel von der Grenzfläche eines schwächer brechenden Mittels zurückgeworfen wird, während dieser Reflexion um eine halbe Wellenlänge verzögert, so daß sie in dem Augenblicke, in welchem sie die spiegelnde Fläche verläßt und in das dichtere Mittel zurückkehrt, sich gerade im entgegengesetzten Schwingungszustande von demjenigen befindet, in welchem sie an der spiegelnden Fläche ankam. Die von der vordern und hintern Fläche der beide Gläser trennenden Luftschicht zurückgeworfenen Lichtwellen müssen sich daher in entgegengesetzten Schwin-

gungszuständen befinden, so oft ihre Wege sich um ganze Wellenlängen von einander unterscheiden. Der Unterschied dieser Wege ist aber, wie wir gesehen haben, der doppelten Dicke der durchlaufenen Luftschicht gleich. Daher muß also eine Aufhebung oder Schwächung der beiden von der vordern und hintern Fläche zurückgeworfenen Lichtwellen an allen den Punkten eintreten, wo die Dicke der trennenden Schicht halbe Wellenlängen beträgt, während die größte Verstärkung der Lichtwellen da stattfinden muß, wo die Dicke der dünnen Schicht 1, 3, 5 Viertelwellenlängen umfaßt.

Da nun im weißen Sonnenlichte sich farbige Ringe zeigen, so folgt daraus, daß diesen Farben verschiedene Wellenlängen entsprechen; denn nur unter dieser Voraussetzung können die verschiedenen Farben sich an verschiedenen Punkten aufheben oder verstärken. Daraus aber folgt wieder, daß zunächst um die berührende Mitte der beiden Gläser diejenige Farbe auftreten muß, welche der geringsten Wellenbreite entspricht, während die äußersten Ringe von den Farben gebildet werden, denen die größte Wellenbreite zukommt. Endlich müssen aber auch alle Farben Ringe von verschiedener Breite haben und die geringerer Wellenbreite entsprechenden auch näher an einander liegen, als die mit größerer Wellenbreite.

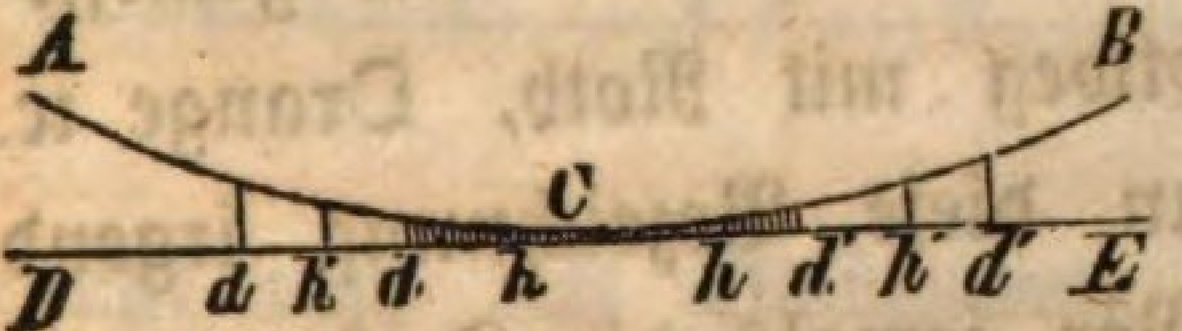
Betrachten wir jetzt unsere bunte Farbenerscheinung noch einmal. Zunächst um die dunkle Mitte bildet sich ein violetter Ring, an den sich ein blauer anschließt. Dann aber kommen Ringe von immer größeren Breiten, deren Farben einander decken und Weiß hervorbringen,

dann wieder aus einander treten und Mischungsfarben bilden. So kann man eine Reihe von Ringen verschiedener Färbung unterscheiden. Gelb, Orange und Roth, die sich an das Weiß des ersten Ringes anschließen, vollenden diesen. Darauf folgt ein zweiter Ring, welcher Violett, Blau, Gelblichgrün, Gelb und Roth enthält. Darauf kommt ein dritter Ring mit Purpur, Indigo, glänzend Grün, Gelb, Rosa, Carmoisin, ferner ein vierter Ring mit Bläulichgrün, Blaßorange und Schwachroth, ein fünfter mit Schwachgrün, Weiß und Schwachroth und endlich ein sechster mit Schwachbläulichgrün und Schwachroth, an dessen Grenzen auch unter den günstigsten Verhältnissen die Farben zu schwinden und zu erbleichen anfangen.

Ganz ähnliche Farbenerscheinungen müssen natürlich auch bei durchgelassenem Lichte eintreten, nur werden sie schwächer sein und ihre Farben genau die complementären derjenigen, die unter gleichen Bedingungen im auffallenden Lichte hervortreten.

Die Messung der Lichtwellen kann uns länger kein Räthsel sein. Der Physiker kann ja mit Bequemlichkeit die Durchmesser dieser farbigen Ringe messen und dann die Abstände der beiden Gläser an den entsprechenden Stellen aus der Krümmung der Linse ACB auf das Genaueste berechnen. Soll er aber aus diesen Abständen, also aus den Wegunterschieden der interferirenden Lichtstrahlen, die immer halben oder ganzen Wellenlängen entsprechen müssen, auf diese Wellenlängen selbst schließen, so muß er freilich auch noch wissen, welchen Lichtstrahlen

gerade diese Wellen angehören. Darin stört ihn hier noch die Farbe, das Ineinanderfließen und sich Mischen der farbigen Ringe. Aber diesem Uebelstande ist leicht abzuhelfen. Statt des gemischten weißen Lichts darf er ja nur nach einander die verschiedenen farbigen Strahlen des Sonnenlichts auf seine Gläser wirken lassen. Die Erscheinung wird dadurch nur in so weit geändert, als statt der vielen farbigen Ringe nur noch ein einfacher Wechsel von hellen und dunkeln Ringen sich zeigt. Bei



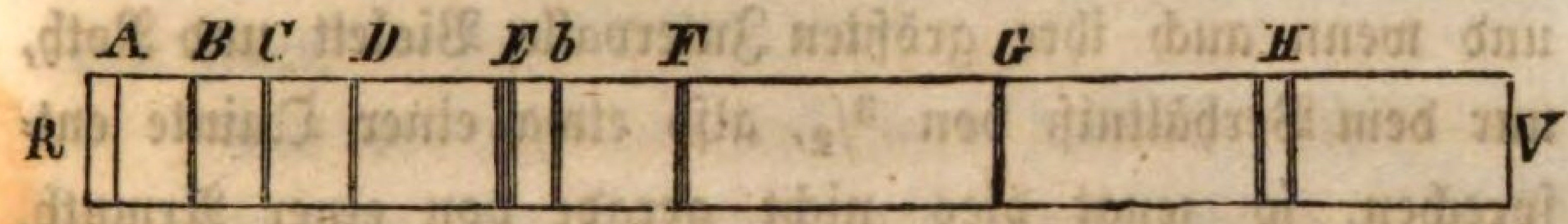
dem ersten dieser hellen Ringe h h muß die Dicke der Luftschicht zwischen den Gläsern dann genau $^1/_4$, beim zweiten h′ h′ $^3/_4$, beim dritten $^5/_4$ der Wellenlänge des angewandten Lichts betragen. Der Physiker, der diese Schicht mißt, mißt also damit auch die Wellenlänge. Für jede andere Farbe werden die Durchmesser dieser hellen und dunkeln Ringe andere, größer oder kleiner, je nachdem ihre Wellenlängen größer oder kleiner sind. Will der Physiker noch mehr, will er auch die Wellen zählen, welche in jeder Secunde in sein Auge fließen, so darf er nur die längst gemessene Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts in die Rechnung ziehen, darf nur die Meilenzahl, welche das Licht in jeder Secunde durchläuft, durch die Länge seiner Wellen dividiren, und er wird die Zahl der Schwingungen finden, welche in dieser Secunde vollendet wurden. So hat die Wissenschaft jene wunderbaren Zahlen gefunden, die mit Recht den unkundigen Laien in Staunen versetzen.

Farbe	Wellenlänge in preuß. Linien.	Schwingungszahl in der Secunde.
Roth	0,000284	451 Billionen
Orange	0,000267	480 —
Gelb	0,000253	509 —
Gelbgrün	0,000235	547 —
Grün	0,000218	589 —
Blau	0,000206	624 —
Violett	0,000194	662 —

Ein Bedenken könnte uns bei aller Einfachheit dieser Messung dennoch zurückgeblieben sein. Die gemessenen Lichtstrahlen sind schlechtweg mit Roth, Orange ꝛc. bezeichnet worden; aber kann diese Bezeichnung irgend eine Bestimmtheit bieten? Wer jemals die Farbenpracht des Regenbogens oder des künstlich erzeugten Sonnenspectrums genauer betrachtet hat, wird gefunden haben, daß diese Farben keineswegs scharfe Abgrenzungen darbieten, daß sie vielmehr auf das Unmerklichste in einander übergehen. Dennoch hat die Natur dem Auge der Wissenschaft ein Mittel geboten, durch das sie den Bezeichnungen, die sie der subjectiven Farbenempfindung entlehnte, die si herste Bestimmtheit geben kann.

Wenn man ein reines prismatisches Sonnenbild, wie man es erhält, wenn man einen Lichtstrahl durch zwei dicht hinter einander befindliche enge Spalten gehen läßt und in einem dunkeln Zimmer mit einem reinen Flintglasprisma auffängt, durch ein Fernrohr betrachtet, so erblickt man eine große Zahl feiner dunkler Linien, welche senkrecht zur Längenrichtung des Spectrums, parallel mit den Rändern der Spalte, höchst unregelmäßig

durch die Farben vertheilt sind. Frauenhofer, ihr erster Entdecker, hat mehrere Hunderte, Wollaston mehrere Tausende dieser Linien beobachtet. Wie auch das Prisma beschaffen sein mag, die Lage dieser Linien gegeneinander bleibt unverändert dieselbe. Einzelne, besonders leicht erkennbare dieser Linien hat man darum für die Abgrenzung und Feststellung der Hauptfarben des Spectrums



benutzt und mit Buchstaben bezeichnet. A liegt an der Grenze des sichtbaren Spectrums, B bezeichnet die Grenze des Roth, C die von Roth und Orange, D liegt nahe an der Grenze des Gelb, E nahe an Grün, F in der Mitte des Grün, G im Blau und H im Violett, dessen äußerste Grenze I bezeichnet. Diesen Buchstaben B bis H entsprechen die in der obigen Messung aufgeführten Farben, deren Bestimmtheit darum nichts zu wünschen übrig läßt.

Die Bedeutsamkeit dieser Frauenhoferschen Linien liegt aber noch in einer andern Leistung, als in der bloßen Bestimmtheit, welche sie für die verschiedenen brechbaren Strahlen des Sonnenlichts gewähren, und zwar ist es wieder ein Blick, den sie uns in die Natur des Lichts selbst thun lassen. Das Licht besteht aus Wellen, aber diese Wellen zeigen in Bezug auf ihre Länge in demselben Lichtstrome so wenig eine ununterbrochene Folge, als die Töne in der Consonanz. Hier wie dort sind

Lücken, Abstufungen, Intervalle, und die schwarzen Linien des Spectrums sind die Spuren dieser Lücken, da, wo ein Wellensystem fehlt, ein dunkler Zwischenraum diesen Mangel zu erkennen geben muß. Für das bloße Auge verschwinden diese Lücken natürlich, wie für das Ohr die Pausen, welche in den Uebergängen der Töne zu einander liegen. So ist das Licht auch in diesem Sinne Musik, und wenn auch ihre größten Intervalle, Violett und Roth, nur dem Verhältniß von $^3/_2$, also etwa einer Quinte entsprechen, so zeugt dies nicht gerade von einer Armuth, sondern nur von einer außerordentlichen Feinheit dieser Musik, welche in so engen Grenzen noch die reichste Mannigfaltigkeit von Verhältnissen zu entfalten weiß.

Fast scheint es, als könnten wir diese Parallele zwischen Licht und Musik noch in einer andern Richtung erweitern. Wie andre Klänge den zitternden Saiten, andre der Flöte, noch andre der Hoboe entquollen, so möchten wir fast glauben, daß auch andres Licht den verschiedenen Lichtquellen entströme. Unser Auge freilich hat keinen Sinn mehr für solche Lichtklänge, aber die Wissenschaft ist versucht, jene dunklen Linien als Beweise dafür gelten zu lassen. Wenigstens hat die Beobachtung gelehrt, daß andre Lichtquellen stets auch anders geordnete Fraunhofersche Streifen im Spectrum zeigen. Mond und Planeten zeigen dieselben, wenn auch minder leicht unterscheidbaren Streifen im Spectrum, als das Sonnenlicht, und nicht mit Unrecht sieht man darin einen Beweis für den gemeinsamen Ursprung ihres Lichts. Aber das Licht der Fixsterne, das elektrische Licht, die Flamme brennender

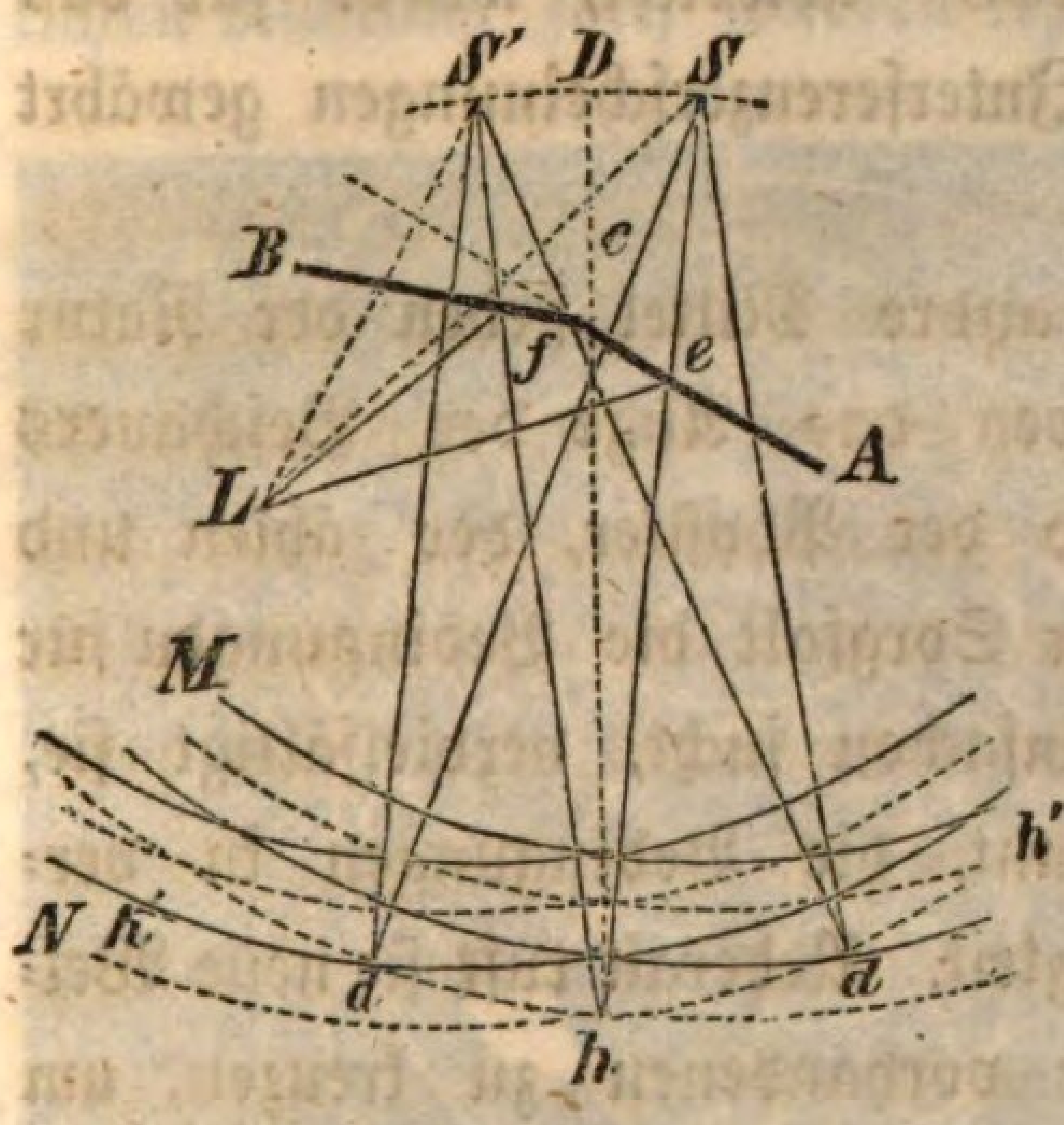
Körper zeigt andre Linien in andrer Ordnung. Darum ist es nicht etwa ein andres Licht von andrer Natur und andern Gesetzen unterworfen, das von den Fernen des Himmels zu uns niederströmt. Die Lichtstrahlen erzählen uns nur, daß andre stoffliche Bedingungen in jenen Welten herrschen, und daß sie nicht Strahlen von jeder Brechbarkeit aussenden, sondern die eine von dieser, die andre von jener.

Wie es nur in Umständen stofflicher Natur liegt, ob diese oder jene Strahlen dem Lichte fehlen, also hier oder dort, mehr oder weniger dunkle Streifen im Spectrum entstehen, davon hat den Forscher die Beobachtung überzeugt, daß die Beschaffenheit der Mittel, welche das Licht durchläuft, von wesentlichem Einfluß auf diese Linien ist. Jede Gasart, durch welche das Licht hindurchgeht, verändert die Zahl und Lage der dunkeln Linien, als ob gleichsam jede eine verschiedene Neigung, Strahlen zu verschlucken, besäße. Dämpfe von Jod oder salpetriger Säure vermehren ganz besonders die Zahl der Streifen. Darum ändert sich auch das Spectrum des Sonnenlichts mit dem Stande der Sonne und dem Zustande der Atmosphäre. Beim Auf- und Untergange der Sonne, wo die blauen und violetten Farben des Spectrums verschwinden, treten mehr dunkle Linien hervor. In den Nachmittagsstunden, bei röthlicher Beleuchtung, bei nebligem Wetter, ist die Zahl der Streifen bedeutender als in den Vormittagsstunden und bei trockner und reiner Luft. Ja selbst eine Verunreinigung der Apparate des Physikers, etwas Staub auf den Spiegeln oder an den Rän-

dern der Spalte kann ihm neue Streifen im Spectrum erzeugen, und die zahlreichen feinen dunkeln Linien, welche man, die Frauenhoferschen senkrecht durchschneidend, so oft im Spectrum des Sonnenlichts beobachtet hat, sind keine neue Entdeckung auf dem Gebiete des Lichts, sondern haben sich nur als Täuschungen bewiesen, welche in solchen Verunreinigungen ihren Grund haben.

Nicht eine Verschiedenartigkeit von Lichtausflüssen also, sondern nur eine verschiedenartige Einwirkung der Mittel, welche das Licht auf seinem Wege durchläuft, sei es der Atmosphären der Himmelskörper oder unserer irdischen Atmosphäre oder des raumerfüllenden Aethers, ist es, worauf diese Erscheinung von Streifen in den prismatischen Farbenspektren als Thatsache hinweist. Es gehen gleichsam Lichtstrahlen unterwegs verloren, d. h. ein Theil der Lichtwellen wird an den Grenzen auch der feinsten Gasschichten zurückgeworfen und begegnet nach einer abermaligen Zurückwerfung den ungehindert durchgelassenen Wellen, um sie aufzuheben oder zu verstärken. Die Frauenhoferschen Linien sind nicht anderer Natur, als Newtons farbige Ringe oder die dunkeln Streifen, die beim Durchgange weißen Lichts durch Brom- oder Joddämpfe erzeugt werden. Diese einfache Grundursache der Lichtinterferenz, der kleine Unterschied in den Wegen zweier Wellensysteme ist es, welcher diese Interferenzerscheinungen zu so allgemeinen und verbreiteten macht, daß sie selbst hier im Grase vor uns, wie wir nicht länger zweifeln können, die buntesten Farbenspiele vorführen. Nicht bloß die Kreuzung zurückgeworfener und gebrochener Lichtstrahlen, wie

sie uns bei dünnen durchsichtigen Schichten begegneten, sondern auch die Kreuzung zweier nur wenig verschieden zurückgeworfener oder gebrochener Lichtstrahlen muß diese Erscheinungen hervorrufen. Es wird uns jetzt nicht schwer werden, uns davon eine Vorstellung zu schaffen.



Wenn wir zwei ebene Spiegel A und B unter einem sehr stumpfen, d. h. wenig von der Ebene abweichenden Winkel gegen einander geneigt aufstellen und irgend eine Lichtquelle L ihre Strahlen darauf senden lassen, so müssen diese so zurückgeworfen werden, als kämen sie von zwei wenig von einander entfernten Punkten S und S′ hinter den Spiegeln her. Von diesen beiden Punkten gehen also zwei Wellensysteme aus, die in ihrem Verlaufe einander kreuzen müssen. In jedem von S und S′ gleich weit entfernten Punkte, z. B. in h, treffen diese Wellen einander natürlich in gleichen Schwingungszuständen, verstärken daher einander und erzeugen helle Stellen. In andern Punkten dagegen, wie d d, wo die Wege um halbe Wellenbreiten verschieden sind, und daher Berg und Thal zusammentreffen, tritt eine Aufhebung des Lichts, eine Verdunklung ein. Erreichen diese Wegunterschiede ganze Wellenbreiten, wie in h′ h′, so erfolgt wieder eine Verstärkung, und so bildet sich eine

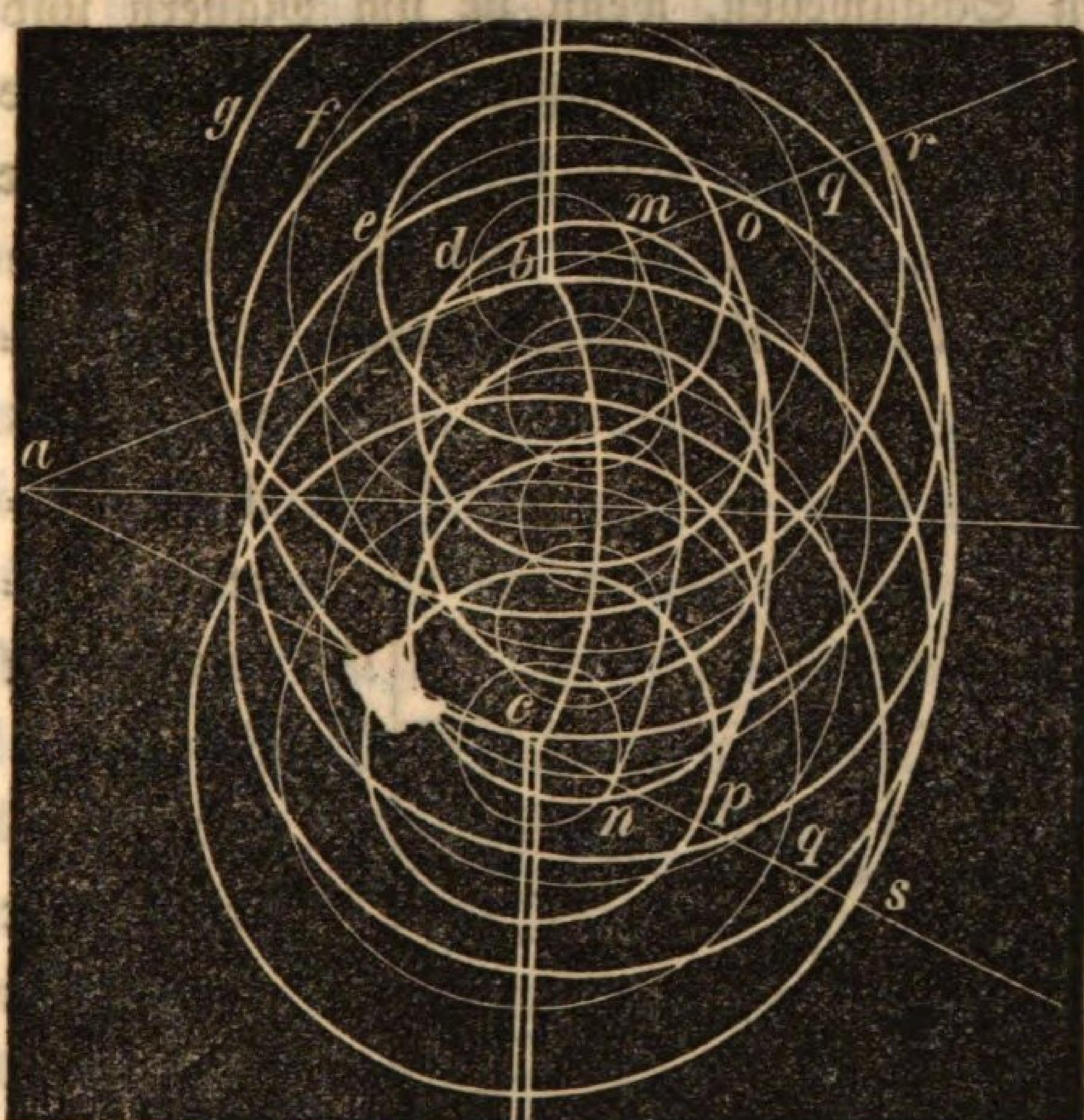
Reihe abwechselnd heller und dunkler oder farbiger Punkte, je nachdem einfarbiges oder weißes Licht angewendet wurde; eine Erscheinung, die ganz den Newtonschen Ringen entspricht und ganz wie sie zur Messung der Lichtwellen benutzt werden kann. Ein Prisma, dessen brechender Winkel wenig von 180 ° abweicht, würde für das gebrochene Licht dieselben Interferenzerscheinungen gewährt haben.

Aber noch tausend andre Mittel stehen der Natur zu Gebote, um durch Farben das Auge des Beschauers zu entzücken, und während der Physiker, der zählen und messen will, mit ängstlicher Sorgfalt die Bedingungen für die Erscheinungen zu vereinfachen sucht, vervielfältigt sie, die solche Zwecke nicht kennt, die Bedingungen in verschwenderischer Mannigfaltigkeit. Ueberall ruft sie neue Wellensysteme hervor, um die vorhandenen zu kreuzen, um die einfachen zu färben, um die verschwimmende Harmonie in Töne aufzulösen. Grade das Kleine, das mikroskopisch Kleine dient ihr zu den reizendsten Farbenspielen.

Wenn wir auf eine feine Nadel oder ein Haar einen Sonnenstrahl fallen lassen, der durch eine Oeffnung in ein dunkles Zimmer fällt, so wirft dieses Haar einen breiten Schatten, und die Ränder dieses Schattens erscheinen gefärbt. Wenn wir einen Sonnenstrahl durch einen äußerst feinen Spalt in einen dunkeln Raum treten lassen, so zeigt sein helles Bild zu beiden Seiten regenbogenfarbige Streifen. Wenn wir durch ein feines Drahtnetz gegen einen leuchtenden weißen Punkt blicken, so se-

hen wir prächtig gefärbte Lichtlinien. Alle diese Farbenerscheinungen rühren von einer Wellenbildung her, welche durch die Störung äußerst kleiner Körper veranlaßt wird.

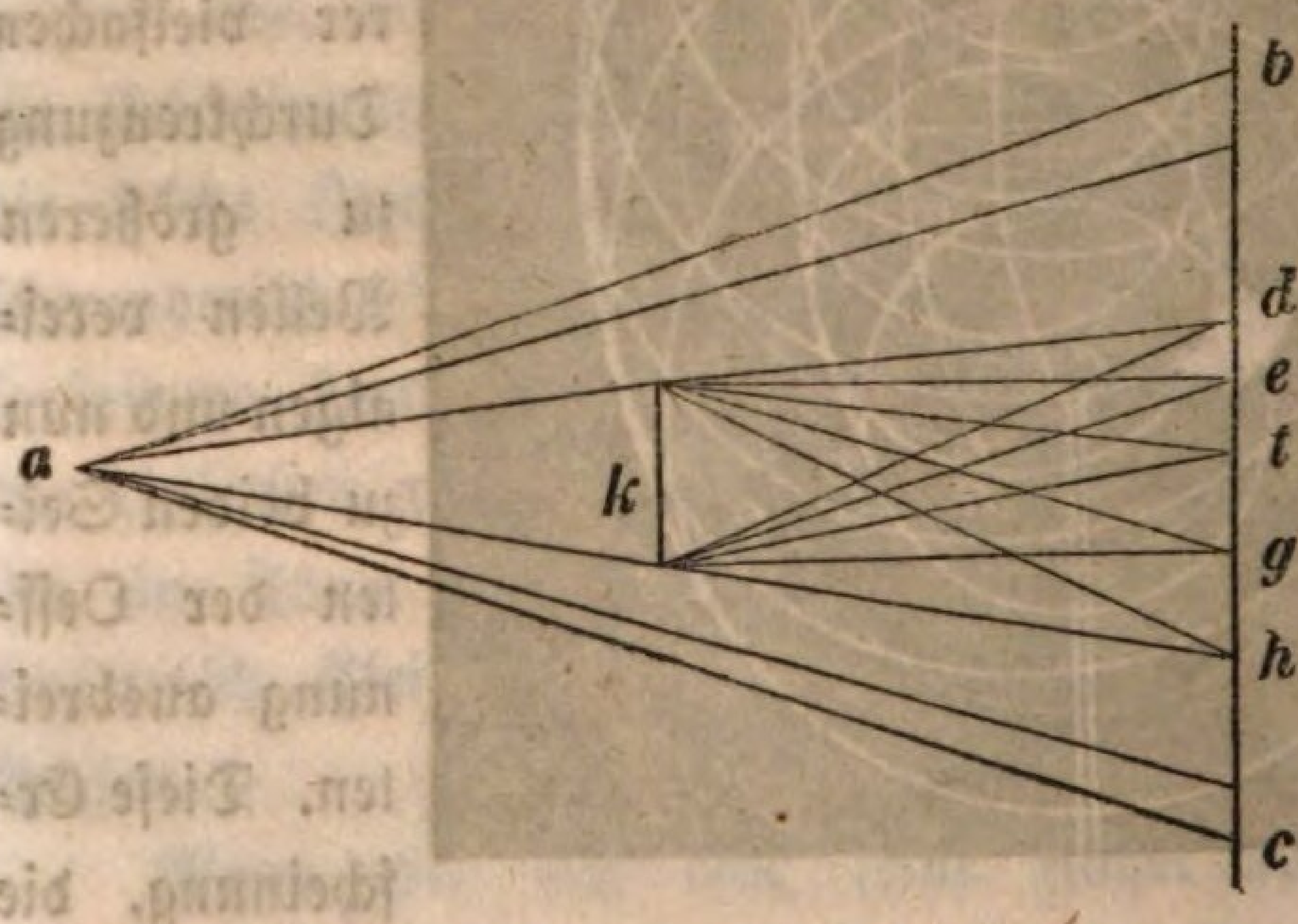
Wenn eine Wasserwelle durch die Oeffnung einer Wand hindurchschreitet, so geht sie nicht bloß in ihrer ursprünglichen Richtung fort, sondern erzeugt zugleich an den Rändern der Oeffnung b c eine Menge neuer kleiner Wellen, die sich in ihrer vielfachen Durchkreuzung zu größeren Wellen vereinigen und nun zu beiden Seiten der Oeffnung ausbreiten. Diese Erscheinung, die



wir als Beugung bezeichneten, tritt natürlich bei Wellen jeder Art ein. Auch die Lichtwellen erleiden, wenn die Oeffnung hinlänglich fein ist, wie es die Kleinheit dieser Wellen erfordert, eine solche Beugung. Auch sie erschüttern die zu den Seiten der Spalte befindlichen Aethertheilchen und erzeugen eben so viele neue, sich um dieselben als Mittelpunkte ausbreitende Lichtwellen, die einander kreuzen und, je nachdem sie sich beim Zusammentref-

sen in gleichen oder entgegengesetzten Schwingungszuständen befinden, verstärken oder aufheben und schwächen müssen. So entstehen abwechselnd helle und dunkle oder farbige Streifen, die bei breiteren Oeffnungen freilich so schmal werden, daß sie das Auge nicht mehr zu unterscheiden vermag.

Gleich den Schallwellen, wenn sie um Mauern und Felsen herum in unser Ohr dringen, beugen auch die Lichtwellen sich um Ränder und Kanten, neue schmale Wellensysteme bildend, die als Licht und Farbe dem Auge erscheinen. Der Schatten eines Kartenblatts k, an welchem aus einer feinen Oeffnung a ein Strahlenkegel vorüberstreift, zeigt uns nicht mehr das einfache



Dunkel des Schattens, sondern eine Reihe farbiger, dunkler und heller Streifen, den halben und ganzen Wellenlängen entsprechend, um welche die Abstände von den Rändern des Körpers sich unterscheiden.

Die Natur weiß aus diesen einfachen Vorgängen die höchste Farbenpracht ihrer Lebenswelt zu zaubern. Bald sind es zarte durchsichtige Schichten, wie die feine Oxydschicht des angelaufenen Stahls, bald feine Furchen und

grübchenartige Vertiefungen, wie sie uns die Perlmutter oder die Flügeldecken der Käfer, oder die zarten Schüppchen, welche den Staub der Schmetterlingsflügel bilden, bald netz- und gitterförmige Verzweigungen, wie die schillernden Flügel der Wassernymphen, die sie für ihre Farbenspiele benutzt. Es sind dieselben Erscheinungen, die sich uns bieten, wenn wir mit halbgeschlossenen Augen durch den Schleier unsrer Wimpern, oder wenn wir durch feingewebte Zeuge oder Bänder nach einer Lichtflamme oder der Sonne sehen. Oft genug werden sie Veranlassung zu Täuschungen unsrer Sinne, und nicht immer ist es leicht zu entscheiden, ob eine Blase im Fensterglas, oder eine beschlagene Brille, oder ob etwa eigenthümliche Vorgänge draußen in den fernen Räumen der Atmosphäre, oder gar droben im Gebiet der Himmelswelten selbst die Ursache zu Farbenerscheinungen enthalten, die unser Auge überraschen. Nicht immer, darauf kommen wir zurück, haben wir die farbenbildende Ursache in der Ferne zu suchen, und nicht selten geht es uns wie dem Naturforscher Brandes, der eines Abends durch das Fenster einen prachtvollen gefärbten Hof um den Mond sah und bereits eine ausführliche Abhandlung darüber beendet hatte, als er zufällig das Fenster öffnete und damit die ganze Erscheinung, die eben nur auf der bethauten Fensterscheibe existirt hatte, vernichtete. Jene farbigen Höfe um Sonne und Mond sind nämlich in der That in ganz ähnlicher Weise durch den atmosphärischen Wasserdunst gebildet, beruhen auf einer ähnlichen Beugung des Lichts, wie sie uns die bethaute Glasscheibe oder das Stückchen dichter

Gaze zeigt, das wir zwischen das Auge und eine Lichtflamme halten.

Brechung und Beugung und Kreuzung der Lichtstrahlen auf ihrem Wege durch die an Hemmnissen so reiche Körperwelt sind die Ursachen der prachtvollen Farbenerscheinungen in der Atmosphäre, im Reiche der Steine und der bunten Gewandung der Lebenswelt, mit denen die Phantasie aller Völker gespielt hat. Störung der Lichtwellen, verschiedene Ablenkung und Zerstreuung der in ihrer Verbindung von unserem Auge als weißes Licht empfundenen Strahlen ist trotz Göthe der Zauberer des Farbenconcerts der Natur. Wir sind nicht Obscuranten, wie Göthe meint, wenn wir die sinnliche Erscheinung auflösen und die Wirklichkeit der Bewegung an ihre Stelle setzen, wie nüchtern und starr auch diese dem nur an der Fläche haftenden Blicke, dem nur nach flüchtigen Augenblicken haschenden Gemüthe erscheinen mag.

Nicht etwas Körperliches ist die Farbe, so wenig wie der Ton, nicht stoffliche, gewissen Körpern eigenthümliche Theile sind es, welche uns diese hohen Sinnengenüsse verschaffen. Farblos strömt das Licht von Sonne und Himmel zu den Körpern, eine Fülle von Verhältnissen in sich bergend, und die Körperwelt ist es, welche diese Verhältnisse auflösend und für die Empfindung unsrer Nerven sondernd das wunderbare Farbenspiel in unser Auge zurückstrahlt. Nicht Farbstoffe sind es, mit denen der Maler seine künstlerischen Schöpfungen auf die Leinwand zaubert, sondern dem Lichte selbst entlehnt er diese farbigen Strahlen, mit denen er malt. Die Farbe ist nicht

unveräußerliches Gut des Stoffs, an dem sie haftet, sondern nur eine oberflächliche Erscheinung seines Innern, die mit der Gruppirung seiner innern Theile wechseln kann, ohne das Wesen des Stoffes zu beeinträchtigen. Die Farbe ist ein Tönen der Körperwelt, eine Offenbarung harmonischen Bewegens, ist das Friedenszeichen gelöster Dissonanzen.

Achtes Kapitel.

Farben und Töne.

(Schluß.)

Rings um uns das duftige Grün des Waldes, der bunte Schmuck der Wiesen, der schimmernde Glanz der Insekten, das Alles ist also eine Schöpfung des Lichts, ein Spiel jener Wellen, die von unendlicher Ferne das Weltall durchrauschen, unfaßbar klein für die gewöhnliche Vorstellung und doch gemessen und gezählt von dem Alles durchdringenden Auge der Wissenschaft. Blumen und Blätter sind Kinder des Lichts! Das hat der Dichter geahnt, und jede Menschenbrust empfindet es nach, wenn der grüne Zauber das schlummernde Leben in ihr weckt. Aber nicht bloß Dichtung, ernste nüchterne Wahrheit ist diese Lichtgeburt alles Lebens. Wälzen wir den Stein hier von dem Rasen, den er bedeckt. Eine bleiche, kranke Welt tritt uns entgegen, gelbliche Grashalme, die sich mühsam dem Dunkel zu entwinden suchen, um wenigstens an ihren Spitzen die Farbe des Lebens einzusaugen, und

die doch immer wieder kraftlos niedersinken, weil ihrem Herzen der Lebensquell fehlt; — verkümmerte Blüthen, die ein ewiges Naturgesetz wohl auch dem kranken Pflanzenleib erpreßte, die es aber nicht einmal zu Kronenblättern, viel weniger zu Farbenschmuck oder Blüthen bringen konnte.

Das Licht ist eine Lebensbedingung. Die Wissenschaft hat gezeigt, daß die Pflanze aus Luft und Wasser nur unter dem Einfluß des Lichts ihre Nahrung zu schöpfen vermag, daß die Zersetzung ihrer Nahrungsstoffe, deren äußeres Zeichen das Freiwerden von Sauerstoff ist, nur im Lichte sich ereignet, daß die des Sonnenlichts beraubte Pflanze eben so verhungert und eben so sich selbst verzehrt, wie das hungernde Thier. Die Wissenschaft hat gezeigt, daß auch das thierische Leben bedingt ist durch den Einfluß des Lichts, daß der thierische Stoffwechsel und damit das Leben selbst mit dem Lichte wächst und mit der Dunkelheit erlahmt, daß die Reizbarkeit der Nerven und Muskeln mit dem Lichte, in dem das Thier athmet, in engster Verbindung steht. Somit war es kein Traum und keine Täuschung, wenn wir nach düsterm Brüten in trüber Dämmerungsstunde in hellem Kerzenschein auch die Gedanken lichtvoller Gestalten erwachen sahen, wenn die abendlichen Schatten nicht allein den blendenden Sonnenglanz des Tages, sondern auch unsre aufgeregten Nerven zu besänftigen schienen, wenn das helle Licht des Vollmonds den von unserm ermüdeten Gehirn so ersehnten Schlaf verscheuchte.

Tief begründet also wäre der Einfluß des Lichts auf alles organische Wesen, auf die niedrigsten Erschei-

nungen des Stoffwechsels, wie auf die höchsten und reinsten Ergüsse des Gemüths und Geistes. Die trübe Stimmung an düstern Regentagen, der kühne Schwung, zu dem ein sonnenheller, duftiger Blüthentag das Herz erhebt, es ist ein Werk des Lichts. Die lieblichsten Schöpfungen des Dichters selbst sind wie die Blüthen Kinder des Lichts.

Seit Jahrtausenden erleuchten die Strahlen der Sonne unsre Erde, ohne daß es den Anstrengungen so vieler ausgezeichneter Geister im Laufe von Jahrhunderten gelungen wäre, die innere Natur, das Wesen des Lichts zu ergründen. Aber es waren nur unglückliche Zeiten der Wissenschaft, in denen sie es versuchte, dem Urgrund der Erscheinungen nachzuforschen. Ein innerer Drang führt sie immer wieder in das Reich der Thatsachen zurück, und hier war es, wo der reiche Quell ihrer Entdeckungen sprudelte. Eine solche Thatsache war auch unsrer Gegenwart vorbehalten, und mit ihr sank der Schleier von neuen wunderbaren Zauberreichen, mit ihr öffnete sich der Blick auf einen Ocean, dessen Wellen nicht Töne, noch Farben, nicht von unsern Sinnen empfunden und genossen, gleichsam der todten Natur draußen Auge und Empfindung verliehen.

Jene Wirkung, welche wir das Licht in der Pflanzenwelt ausüben sahen, war ein einfacher chemischer Vorgang, eine Ausscheidung von Sauerstoff. Aber diese Erscheinung steht nicht vereinzelt da. Nicht das Leben allein, auch die unorganische Welt hat daran Theil. Salpetersäure färbt sich im Sonnenlichte gelb, weil sie Sauer-

stoff verliert, Chlorwasser entwickelt im Sonnenlicht Sauerstoff und verwandelt sich in Salzsäure. Eine Menge andrer chemischer Verbindungen und Umwandlungen unter dem Einflusse des Lichts hat die Wissenschaft längst beobachtet. Der Pflanzenfaserstoff wird gebleicht, indem sich der Sauerstoff mit dem sonst unlöslichen Farbstoff verbindet. Chlorgas und Wasserstoffgas feiern unter gewaltiger Explosion ihre Vereinigung im Lichte. Braunes Schwefelblei verwandelt sich im Sonnenlicht in weißes schwefelsaures Bleioxyd. Chlorsilber schwärzt sich, Gold wird aus seinen Auflösungen niedergeschlagen.

Es ist ganz natürlich, daß das Licht seine kräftigsten Einwirkungen auf die Oberflächen der Körper ausübt, und daß es hier, wenn es nicht in das Innere zu dringen vermochte, die auffallendsten Beweise seiner Thätigkeit zurückläßt. Als Kinder unterhielten wir uns wohl manchmal damit, zum Bedauern unsrer Eltern auf den frischgeputzten Fensterscheiben mit dem Finger Namen und Figuren zu malen, die dann, wenn wir mit dem Munde darüber hinhauchten, oder wenn in der Kühle der Nacht die Scheiben mit zartem Thau sich belegten, sichtbar hervortraten. Dieses kindische Spiel wird wieder einmal, wie schon so manches andre, eine allgemeinere Bedeutung erlangen, wird uns wieder einmal zum Vorbild tief eingreifender Vorgänge in der Natur, ja einer der wunderbarsten Entdeckungen unsrer Tage dienen. Auch das Licht malt Bilder auf Flächen, die durch einen Hauch Gestalt gewinnen. Legt man auf eine reine gut polirte Silberplatte einen durchbrochenen Schirm und läßt die Sonne mehrere

Stunden darauf wirken, so schlagen sich die Wasserdämpfe des Hauches nach völligem Erkalten an den Stellen, welche vom Sonnenlicht getroffen worden waren, in größerer Menge nieder als an den andern, und es zeigt sich grade so ein deutliches Bild des Schirmes auf der Platte, wie die Spuren des Fingers auf der Fensterscheibe sich abbildeten. Ganz Aehnliches aber würde jede andre Platte und jeder andre Dampf geleistet haben. Das Licht wirkt also auf alle Stoffe, und man kann seine Wirkung sichtbar machen durch Dämpfe, welche an der Oberfläche haften oder chemisch auf die Stoffe einwirken. Wir werden nun sehen, was der erfinderische Scharfsinn des Menschen aus dieser einfachen Thatsache zu machen gewußt hat, und wir ahnen bereits, daß sie die Grundlage der Photographie ist.

Flüchtig und vergänglich sind die Bilder, mit denen die Natur um uns spielt. Der Spiegel vermag sie nicht festzuhalten, und auch dem Auge zerfließen sie jeden Augenblick in leeres Nichts. Nur die Zauberin Phantasie weiß sie zu fesseln, weiß sie in ihrem geheimnißvollen Schrein zu bewahren, um sie oft nach Jahren daraus hervorzuholen und mit ihren Farben geschmückt auf die Leinwand zu bannen, oder durch das Wort zu verkörpern. Die Wissenschaft hat dieser Zauberin ihre Geheimnisse abgelauscht, sie hat einen Märchentraum in Wirklichkeit verwandelt, indem sie einen Spiegel ersann, wie ihn nur jenes Märchen kannte, welches das Bild des Liebenden am Spiegel haften ließ; sie hat der Natur selbst Palette und Pinsel in die Hand gegeben, da-

mit sie den Augenblick verewige und die Gegenwart für das Auge der Zukunft festhalte. Ein Stündchen der Erinnerung sei auch hier in der grünen Schule der Natur dieser wunderbaren That der Wissenschaft gewidmet, die mehr noch einen neuen und tiefen Blick in das Wirken der Natur voraussetzt, als sie ihn erschließt.

Selten ist eine Entdeckung so überraschend und zugleich so vollendet an das Tageslicht getreten, als die Photographie. Selten hat aber eine wissenschaftliche Kunde eine solche Aufregung und ein solches Staunen in der ganzen gebildeten Welt hervorgerufen, als jene Kunde, die am 7. Januar 1839 aus den Sälen der pariser Academie durch Europa drang, daß es gelungen sei, durch bloße Einwirkung des Lichts bei nachfolgender Anwendung gewisser chemischer Substanzen vollkommene Bilder von Gegenständen auf versilberten Kupferplatten zu erhalten.

Vergeblich hatten zwei der größten Gelehrten zu Anfang unsres Jahrhunderts, Davy und Wedgwood, Jahre ihres Lebens der Lösung dieser Aufgabe geopfert. Zwei Ungelehrte, ein einfacher Gutsbesitzer und ein Maler, waren es, in denen wie durch ein Wunder der Geistesfunke sich zu strahlendem Lichte entzündete. Wohl spielte der Zufall auch hier seine mystische Rolle, aber ein Zufall, wie jener fallende Apfel, durch den Newton das Gravitationsgesetz entdeckte, oder der schwingende Kronleuchter im Dome zu Pisa, der Galilei zur Entdeckung der Fallgesetze führte. Jede Entdeckung ist an bestimmte Zeiten gebunden. Erst muß ein gewisser Kreis

von Erscheinungen zur klaren Erkenntniß gelangt sein; dann aber ist die Entdeckung nicht mehr bloß möglich, sondern drängt sich mit unabweisbarer Nothwendigkeit von selbst hervor. Dann freilich wird der Zufall zu einem zündenden Funken.

Schon im Jahre 1814 beschäftigte sich Joseph Niepce, ein zwar ungelehrter, aber denkender und strebsamer Gutsbesitzer in der Gegend von Chalons sur Saone, mit dem anscheinend ganz unbedeutenden Versuche, Striche durch das Licht zu vervielfältigen. Zwei einfache Thatsachen, die eine jedem Maler, die andre jedem Chemiker längst bekannt, waren gleichsam die geheimen Keime seiner wunderbaren Entdeckung. Die erste dieser Thatsachen ist die Eigenschaft des sogenannten Judenpechs, einer schwarzen, harzigen Substanz, sich am Lichte ziemlich schnell zu entfärben. Auf diese gründeten sich die ersten Versuche Niepce's. Ein durch Firniß durchsichtig gemachter Kupferstich wurde auf eine mit Judenpech überzogene Zinnplatte gelegt und dann der Einwirkung des Lichts ausgesetzt. Die schwarzen Stellen des Bildes hielten die Lichtstrahlen fern, die weißen dagegen ließen das Licht durch, das nun das Judenpech bleichte. So entstand ein Bild, in welchem Schatten und Licht grade wie im Original vertheilt waren, nur daß der Unterschied schwächer hervortrat.

Freilich durfte dieses Bild nicht ohne Weiteres dem Lichte ausgesetzt werden, weil sonst auch die bis dahin noch nicht vom Lichte getroffenen Stellen gebleicht worden wären und in ihren Erlöschen das Bild mit sich

genommen hätten. Das Mittel aber, dieses von der Sonne erzeugte Bild zu schützen, das jene berühmten Physiker vergeblich gesucht hatten, ward von dem schlichten Landmann Niepce gefunden. Eine Mischung von Lavendelöl und Steinöl, in welche er seine Platte tauchte, löste die unveränderten, vom Lichte nicht getroffenen Theile des Asphalts auf und legte das Metall bloß, während sie an den vom Lichte getroffenen Stellen den Ueberzug unversehrt ließ. Es trat ein deutliches Bild hervor, dessen Lichter durch den fein zertheilten gebleichten Asphalt, dessen Schatten von den spiegelnden Metalltheilen gebildet wurden. Es war ein Bild grau in grau, dessen Contraste freilich nicht sehr kräftig sein konnten.

Aber das war nur das Vorspiel der großen Erfindung, die noch einen andern Mann unsterblich machen sollte. Das Ziel, welches Niepce vor Augen hatte, war, die mühevolle Arbeit des Graveurs durch die einfache Naturkraft zu ersetzen. Es war ihm gelungen, den Kupferstich durch das Sonnenlicht nachzubilden; jetzt galt es auch der lebendigen Natur unmittelbar ihre Bilder abzugewinnen. Zwar wußte man längst durch die Sammellinse der Camera obscura sich verkleinerte Abbilder der Natur zu verschaffen; aber diese Bilder waren flüchtig wie die des Auges; das Spiegelbild mußte in ein bleibendes Gemälde verwandelt werden. Nach zehnjähriger Arbeit gelang es Niepce sein bei der Nachbildung der Kupferstiche angewandtes Verfahren auf die Bilder der Camera obscura zu übertragen. Er vermochte

selbst die Lebhaftigkeit dieser Bilder zu erhöhen, und dazu verhalf ihm jene zweite längst bekannte chemische Thatsache, die Schwärzung farbloser Silbersalze durch die Einwirkuug der Lichtstrahlen. Er wandte versilberte Kupferplatten an, die er Dämpfen von Jod oder Schwefelkalium aussetzte, und erhielt so einen schwarzen Grund, auf welchem die Zeichnung deutlicher hervortreten konnte.

Aber es war doch eben noch eine rohe Kunst, deren Mängel erst bei ihrer Anwendung auf die lebende Natur hervortraten. Das Licht, welches hier wirkte, war viel schwächer, als das volle Sonnenlicht, welches auf die mit dem Kupferstich bedeckte Platte eingewirkt hatte. 10—12 Stunden waren erforderlich, solch ein Lichtbild hervorzurufen, und in 10 Stunden änderten sich die Beleuchtung der Gegenstände und ihre Schatten so wesentlich, daß die Bilder bis zum Unkenntlichen verwaschen wurden. Da bemächtigte sich ein Anderer dieser Erfindung, Daguerre, ein pariser Dekorationsmaler, der durch die Lichteffecte, die er bei seinen Dioramen angewandt hatte, zu einem tiefern Studium des Lichts geführt worden war. Auch er wollte die Spiegelbilder der Camera obscura festhalten, aber er war Maler, und nicht den Grabstichel, sondern den Pinsel sollte die Natur für ihn führen.

Das gleiche Streben führte diese beiden Männer zusammen, und am 14. Dec. 1829 schlossen sie einen Vertrag zur gemeinsamen Benutzung und Vervollkommnung der von Niepce gemachten Erfindung. Ein Zufall aber sollte es sein, der den Weg dazu zeigte. Auf einer

den Joddämpfen ausgesetzt gewesenen Silberplatte war eines Tages zufällig ein Löffel liegen geblieben; und man erstaunte, als man ihn wegnahm, ein Bild desselben auf der Platte wahrzunehmen, das nur durch die Einwirkung des Lichts entstanden sein konnte. Jetzt ward der Asphalt bei Seite geworfen und statt seiner die Platte durch verdampfendes Jod mit Jodsilber überzogen, das nun eine ganz andre Empfindlichkeit gegen die Einwirkung des Lichts zeigte. Das war der erste Schritt zur vollkommenen Lösung des Problems nach 20 Jahren mühevoller Arbeit. Es war der letzte Erfolg, den Niepce erlebte. Er starb am 5. Juli 1833 arm und unbekannt.

Die Vertauschung des Asphaltüberzuges mit jodirten Silberplatten war ein Ereigniß von so weit greifender Bedeutung für die neue Kunst, daß sie nicht lange mehr das Licht der Oeffentlichkeit zu scheuen hatte. Statt bisher stundenlanger Einwirkung des Lichts waren nur noch wenige Minuten erforderlich, um der lebenden Natur treue Abbilder zu entreißen, ehe sie noch im Stande war, durch den Wechsel der Beleuchtung ihre Züge zu verwischen. Zwar wurden durch die Wirkung des Lichts auf diesen Platten noch nicht unmittelbar Bilder erzeugt; die Platten waren gleichsam nur erst fähig zur Aufnahme von Bildern gemacht, oder diese Bilder waren vielmehr noch unsichtbar gleich den Figuren, die der Finger auf eine Fensterscheibe zeichnet, ehe der Hauch sie sichtbar macht. Ein Zufall war es wieder, der Daguerre das Mittel bot, diesen Bildern Gestalt zu geben. Dieses

Mittel beruht auf der merkwürdigen Eigenschaft der Quecksilberdämpfe, auf dem vom Lichte bestrahlten und dadurch chemisch veränderten Jodsilber zu haften, während sie die im Schatten gebliebenen Stellen unbedeckt lassen. Es ist der für den ersten Beobachter gewiß überraschendste Theil dieser natürlichen Zauberkunst, da, wo das Auge so eben noch keinen Zug einer Zeichnung sah, einen Augenblick später ein Bild von einer Vollkommenheit auftauchen zu sehen, als ob es der Pinsel eines unsichtbaren Künstlers hervorgezaubert hätte.

Aber noch ist das Bild in der That ein trügerisches Zauberbild; der erste Sonnenstrahl, der es träfe, würde es verlöschen. Das Bild muß fixirt werden, d. h. das unzersetzte Jodsilber, das sich noch auf der Platte befindet und das vom Lichte geschwärzt werden würde, muß entfernt werden. Ein geeignetes Lösungsmittel für das Jodsilber fand Daguerre in dem Kochsalz, statt dessen man gegenwärtig aber viel erfolgreicher das unterschwefligsaure Natron anwendet. Nach einer solchen Waschung erst ist das Lichtbild völlig gesichert. In diesem Zustande der Vollkommenheit durfte aber auch die Kunst selbst nicht länger zögern, vor die Oeffentlichkeit zu treten.

Am 7. Januar 1839 kam durch Arago die erste Kunde von dieser in bescheidenem Dunkel gepflegten und entwickelten Kunst unter die staunenden Völker Europas. Am 15. Juni brachte die Deputirtenkammer Frankreichs dem Genie der Erfinder ihre feierliche Huldigung dar, indem sie Daguerre und dem Sohne Niepces eine Volksbelohnung zusicherte. Am 19. August legte Arago das

Geheimniß dieser Entdeckung selbst mit allen seinen Einzelnheiten vor den Augen der Welt dar. Nie wurde eine Entdeckung mit gerechterem Staunen, mit größerer Ueberraschung aufgenommen, und nie war der Eifer, mit dem sich Gelehrte und Laien dieser neuen Kunst bemächtigten, allgemeiner. Der verborgene Geistesschatz zweier einfachen, aber genialen Männer war öffentliches Eigenthum geworden.

Ein neuer Zeitabschnitt begann damit für die photographische Kunst. Vereinte Bemühungen befreiten sie in wenigen Jahren von allen Mängeln ihrer Jugend und gaben ihr in anderthalb Jahrzehnden für Wissenschaft und Leben eine Bedeutung, wie sie selbst von den ersten überschwänglichen Bewunderern nicht geahnt worden war.

Kaum war der erste Rausch der Begeisterung vorüber, so begann man die Mängel dieser neuen Kunst zu fühlen. Die Daguerre'schen Bilder erschienen bald nur als leblose, selbst verzerrte Silhouetten der Natur. Allerdings mußte das Leben von ihnen ausgeschlossen werden, denn seine Beweglichkeit vertrug sich nicht mit der langen Dauer des Lichteindrucks, der zur Erzeugung dieser Bilder erforderlich war; denn noch betrug diese Zeit im hellen Sonnenlichte mindestens 3 Minuten, bei ungünstiger Beleuchtung selbst eine halbe Stunde. Zwar suchte man diese Zeit etwas durch eine Veränderung der Camera obscura zu verkürzen, indem man Linsen von kürzerer Brennweite einführte, die eine größere Concentration des Lichts möglich machten. Aber immer noch betrug die

zur Erzeugung des Bildes erforderliche Zeit im günstigsten Falle 2—3, im Mittel 4—5 Minuten. Welche Geduld gehörte dazu, diesem Porträtmaler zu sitzen, der im vollen Glanz der Sonnenstrahlen nicht die geringste Zuckung duldete. Das liebenswürdigste Gesicht, mit dem man sich niedersetzte, verwandelte sich auf der Platte in die verzerrten Züge eines Märtyrers.

Schon begann man über diese Stümpereien der neuen Kunst zu spotten; da entdeckte ein französischer Daguerreotypist, Claudet, im J. 1841 die merkwürdige Eigenschaft gewisser Stoffe, die an und für sich zwar nicht durch den Einfluß des Lichts zersetzt werden, aber der jodirten Platte einen so außerordentlichen Grad von Empfindlichkeit gegen das Licht geben, daß wenige Secunden hinreichen, ein scharfes Bild zu erzeugen. Die ersten glücklichen Versuche dieser Art wurden mit Dämpfen von Chlor und Brom gemacht, statt deren man späterhin als noch viel geeigneter Bromkalk, Chlorschwefel, Jodbromür, Bromoform und chlorige Säure einführte.

Mit dieser Erfindung war der neuen Kunst ein neues Gebiet, das Gebiet des Lebens, eröffnet worden. Jetzt konnte das Leben mitten in seiner Beweglichkeit erfaßt werden, und die Harmonie des Porträts wurde noch erhöht durch die bis ins Mikroskopische gehende Vollendung der Einzelnheiten. Aber noch waren andre Mängel zu beseitigen. Die unangenehme metallische Spiegelung schwächte den Eindruck der Bilder; ihr Ton hing einzig von den geringen Gegensätzen zwischen den Farben des Quecksilbers und Silbers ab. Ueberdies waren die

Bilder so zart, daß der zarteste Pinsel hinreichte, sie zu verlöschen. Kraft und Dauer fehlte den Bildern, und diese ward ihnen durch die von Fizeau eingeführte Vergoldung. Man brauchte nur eine Mischung von Chlorgold und unterschwefligsaurem Natron über das Bild zu gießen, um es sofort sich mit einem zarten Ueberzuge von metallischem Golde bedecken zu sehen, der das Bild vor allen äußeren Einflüssen vollkommen schützt. Das Silber, welches die Schatten des Gemäldes bildet, wird durch die zarte Goldschicht gebräunt und seiner Spiegelung beraubt, während das Quecksilber durch die Goldschicht einen noch lebhafteren Glanz annimmt und dadurch die Lichter des Gemäldes hebt. Durch diese schärferen Kontraste in den Farben der Metalle wird also auch die Lebendigkeit und Kraft der Lichtbilder erhöht.

Bei allen diesen, wenn auch mit noch so glücklichen Erfolgen gekrönten Bemühungen war man doch allmälig zur Ueberzeugung gekommen, daß Metalle um ihres Glanzes willen überhaupt nicht das rechte Material seien, um Bilder darauf zu malen. Man erinnerte sich, daß man von einem ganz anderen Zwecke ausgegangen sei, als man diese Metallplatten in die neue Kunst einführte, daß man ursprünglich in den auf ihnen erzeugten Bildern nur einen Ersatz für mühsam gravirte Kupferstichplatten gesucht habe, und daß die Herstellung von Bildern auf Papier die erste und gewiß höchste Aufgabe dieser Erfindung gewesen sei. Man schritt zu diesem Anfang zurück, um neue Erfolge zu erobern.

Wenige Tage nach jener Zeit, in welcher Arago's

erste Veröffentlichung der Daguerre'schen Erfindung die ganze Welt mit Staunen erfüllte, am 30. Jan 1839 trat der englische Physiker Talbot mit der Erklärung auf, daß es ihm gelungen sei, die Bilder der Camera obscura auf Papier zu befestigen. Aber diese erste Veröffentlichung Talbot's war zu unvollständig und zu geheimnißvoll, um sich durch den Enthusiasmus der Daguerre'schen Kunst Bahn zu brechen. Sie wurde vergessen, bis das klar erkannte Bedürfniß ihr Gehör und Geltung verschaffte. Ein französischer Tuchmacher zu Lille, Blanquart Evrard war es, der im J. 1847 ein wesentlich mit der Talbot'schen Erfindung übereinstimmendes Verfahren, Lichtbilder auf Papier zu erzeugen, veröffentlichte. Talbot schwieg mit der Bescheidenheit des ächten Forschers und wartete, bis eine spätere, klarer blickende Zeit ihm sein geistiges Eigenthumsrecht zurückerstatten werde. Aber er blieb nicht unthätig, und wäre er nicht der Erfinder gewesen, der glückliche Scharfsinn, mit dem er diesen Zweig der photographischen Kunst in wenigen Jahren der Vollkommenheit entgegenführte, hätte ihm den ersten Preis in dem neuen Wettstreit der Geister sichern müssen.

Das Wesen der Talbot'schen Erfindung beruhte wieder in der Eigenschaft gewisser Silbersalze, sich unter Einwirkung des Lichts in Folge chemischer Zersetzung zu schwärzen. Zuerst war es das Chlorsilber, das man zu diesem Zwecke anwandte, und das man dadurch im Papiere erzeugte, daß man es zuerst mit einer Kochsalzlösung, dann mit einer Lösung von salpetersaurem Silber tränkte. Wenn man dies empfindliche Papier mit einem

Kupferstiche bedeckte, oder das Bild einer Camera obscura darauf fallen ließ, so wurde es, je nach dem Grade der Beleuchtung, an den hellen Stellen geschwärzt, während es an den dunklen unverändert weiß blieb; es erzeugte sich ein weißes Bild auf dunklem Grunde mit verwechselten Lichtern und Schatten, ein negatives Bild, wie man es in der Kunstsprache nennt, das durch Wiederholung derselben Operation auf ein andres empfindliches Papier als positives Bild übertragen werden mußte.

Freilich bedurfte das durch Schwärzung des Chlorsilbers erzeugte Bild, ehe es dem Tageslichte ausgesetzt werden durfte, ebenso einer Befestigung, wie jene Bilder der Daguerre'schen Platten. Das empfindliche, ungeschwärzt gebliebene Chlorsilber mußte aus dem Papiere zuvor entfernt werden. Dazu bedurfte es einer Flüssigkeit, welche das unveränderte Chlorsilber mit Leichtigkeit auflöste, das geschwärzte dagegen, je nach der Stärke der vorangegangenen Bestrahlung, zurückließ. In dieser Eigenschaft bewährte sich die Salzsäure, einige Chlor- und Cyanverbindungen, einige Ammoniaksalze, vor allen aber die unterschwefligsauren Alkalien. Ein Bad in unterschwefligsaurem Natron stellte das Talbot'sche Lichtbild vor jeder ferneren Einwirkung des Lichts sicher.

Der nächste Fortschritt in der Talbot'schen Kunst wurde durch das Bedürfniß einer kürzeren Zeitdauer und Vermeidung der unmittelbaren Bestrahlung des Sonnenlichts geboten. Zwar konnte man das Papier schon bedeutend empfindlicher gegen das Licht machen, wenn man das Chlorsilber durch Jod- oder Bromsilber ersetzte, d. h.

das Papier, statt zuvor mit Kochsalz, mit Jod- oder Bromnatrium tränkte. Aber um Bilder der Camera obscura, namentlich dem bewegten Leben entnommen, treu und unverwaschen zu fixiren, dazu genügte dieses Mittel noch nicht. Man mußte chemische Substanzen suchen, welche auf die empfindliche Schicht von Silbersalzen, wenn sie auch nur so kurze Zeit dem Lichte ausgesetzt war, daß das Auge noch keine oder doch nur äußerst schwache Farbenveränderungen auf ihr wahrnimmt, so kräftig einwirken, daß sie darauf die unmerklichen Lichtveränderungen ihrem Grade nach durch hellere oder dunklere Färbung sichtbar macht. Eine solche Substanz fand Talbot in der Gallussäure, und in noch höherem Grade erkannte man später die erwähnte Eigenschaft an dem Eisenvitriol und der Pyrogallussäure. Kaum giebt es etwas Wunderbareres als die zauberhafte Wirkung dieser Substanzen, wenn das jodirte, nur wenige Secunden dem Lichte ausgesetzte Papier, auf dem noch keine Spur eines Gemäldes sichtbar ist, in die Auflösung einer jener Substanzen getaucht wird, und nun allmälig das Zauberbild auftaucht, zuerst ein schwacher Schattenriß, dann immer schärfere Umrisse gewinnend, endlich sich bis in die feinsten, selbst mikroskopisch geheimnißvollen Parthien wie mit unsichtbarem Pinsel ausführt.

Das ist der letzte bedeutungsvolle Schritt, der in dieser natürlichen Malerkunst bisher gethan wurde. Daß es der letzte bleiben werde, wäre Thorheit zu behaupten. Bisher waren es nur die Silbersalze, deren lichtempfindliche Eigenthümlichkeit benutzt wurde, die flüchtigen Spie-

gelbilder auf Platte und Papier zu bannen. Aber sie sind nicht die einzigen Licht empfindlichen Stoffe, welche die Chemie kennt, und man hat bereits den Versuch gemacht, die Silbersalze durch andere, namentlich durch chromsaures Kali und gelbes Blutlaugensalz in Verbindung mit Eisenvitriol zu ersetzen. Zwar sind diese Stoffe ihrer geringen Empfindlichkeit wegen wenig geeignet, die Bilder der Camera obscura aufzunehmen, aber sie zeichnen sich durch die herrlichen blauen oder gelben Tinten aus, die sie ihren Bildern verleihen. Auch für Metall und Papier, die bisher bestimmt waren, diese Lichtbilder zu tragen, hat man schon versucht, zweckmäßigere Ersatzmittel zu finden. Denn während der metallische Glanz die Wirkung der Metallbilder beeinträchtigte, sucht man auf den Papierbildern wieder vergebens die Kraft, die Zartheit der Zeichnung, die wunderbare Abstufung der Töne, die den Metallbildern ihren eigenthümlichen Reiz geben. Die Rauhheit und Ungleichförmigkeit des Papiers, welche diese Mängel verschuldet, mußte daher zunächst den Gedanken hervorrufen, das Papier durch glatte Ueberzüge der Metallplatte näher zu bringen. Firniß, Leim, Kleister leisteten zu diesem Zwecke vortreffliche Dienste. Aber offenbar entstanden jetzt die Lichtbilder nicht mehr auf dem Papiere selbst, sondern auf diesen Ueberzügen, und es lag zu nahe, als daß man nicht bald darauf hätte fallen müssen, das nur noch als Grundlage dienende Papier durch passendere, namentlich ebenere und, was für das Copiren der negativen Bilder wichtig war, durchsichtigere Stoffe zu ersetzen.

So wurde das Glas in die photographische Kunst eingeführt, das, mit dem von Archer in England empfohlenen Collodium überzogen, Bilder von einer Schärfe in der Zeichnung und einer Zartheit der Töne giebt, daß sie mit den besten Metallbildern wetteifern können.

Siebzehn Jahre sind verflossen seit der ersten Veröffentlichung dieser Entdeckung, und wohl nie hat eine Kunst in so kurzer Zeit eine solche Vollendung erreicht. Die ersten Bilder Niepce's erforderten zu ihrer Erzeugung eine Lichteinwirkung von 10—12 Stunden, und selbst Daguerre's verbesserter Kunst gelang es nur, diese Zeit auf 7—10 Minuten herabzusetzen. Jetzt zwingt man bereits das Licht in Bruchtheilen einer Secunde seine Bilder zu zeichnen und Thiere und Menschen mitten in ihrer Bewegung, segelnde Schiffe und am Ufer sich brechende Wellen, ja selbst das Lächeln des Kindes in festen Zügen auf die empfindliche Schicht zu bannen.

Noch ist diese Eroberung der Wissenschaft zu neu, um schon sichere Schlüsse über ihre Bedeutung für das Leben ziehen zu können. Die Erwartungen des Enthusiasmus, mit welchem diese, wie jede neue Erfindung begrüßt worden, haben sich nicht erfüllt, aber andre wichtigere und ungeahntere Dinge hat sie geleistet. Die Landschaften und Porträts, die sie liefert, haben freilich nichts gemein mit der gedankenvollen, aus der Tiefe des Gemüths stammenden Schöpfung des Künstlers, die wie im Spiegel uns das wechselnde Leben drinnen und draußen vorführen; sie sind kalte Bilder, aber treue Copien, die durch Wahrheit in der Ausführung der kleinsten De-

tails, durch richtige Vertheilung von Licht und Schatten eine Bewundrung einflößen, die freilich nur zu den Sinnen, aber auch zu den mit der Lupe bewaffneten Sinnen spricht. Diese Copien werden von Bedeutung, wo es nicht mehr dem Gedanken, sondern der Form gilt, vor allem in der Architecturzeichnung, in der Aufnahme von Ueberresten und Denkmälern des Alterthums. „Um die tausend und abertausend Hieroglyphen, die selbst nach außen hin die großen Baudenkmale von Theben, Memphis und Karnak bedecken, zu copiren," sagt Arago, „bedarf es mehrerer Jahrzehnde und Legionen von Zeichnern, während mit dem Daguerreotyp ein Einzelner diese ungeheure Arbeit bequem ausführen könnte." Wenn es gilt, Thier- und Pflanzenformen wissenschaftlichen Augen vorzuführen, da giebt es keinen glücklichern Zauberer als dies einfache Instrument. In wenigen Augenblicken ist jetzt der Reisende in fernen Ländern im Stande, die treuesten Zeichnungen von Thieren und Pflanzen zu erhalten, und in seiner Mappe trägt er nun den wichtigen Reiseschatz mit sich, der sonst von tausendfachem Verderben auf diesen gefahrvollen Wanderungen bedroht war. In Amerika beginnt man bereits photographische Abbildungen der amerikanischen Thierwelt zu veröffentlichen, von einer Anschaulichkeit und Treue, wie sie noch nie von Künstlerhand erreicht ward, ein Beweis, welche Erweiterung der Naturkenntniß durch diese Kunst noch bevorsteht. Ist es doch selbst gelungen, die Bilder des Mikroskops auf das Papier zu fesseln, und dadurch das Leben in seinen Atomen und in den flüchtigsten Momenten

seiner Entwicklung für das Auge festzuhalten! Selbst in die Himmelshöhen hat diese Kunst sich verstiegen, und die Himmelswelten legt sie uns wie die irdischen Atome vor Augen. Schon gehört es zu den täglichen Arbeiten der englischen Sternwarten, Sonne und Mond ihre photographischen Bilder zeichnen zu lassen, um von Tage zu Tage die Veränderungen auf ihrer Oberfläche zu verfolgen, die den sorgfältigsten Blicken der Astronomen bisher nur zu leicht entgingen.

So ist auch das Licht in die Reihe der dem Menschen dienstbaren und für ihn arbeitenden Naturkräfte getreten. Zu der ehrenvollen Arbeit des Künstlers, die man ihm zuerst übertrug, kamen bald die niederen Handlangerdienste, und zum Sklavendienst vollends ward es auf den Observatorien der Astronomen und Meteorologen herabgewürdigt. Hier muß es jetzt unausgesetzt Tag und Nacht die Instrumente des Gelehrten bewachen, und die Angaben der Magnetnadel, der Thermometer, Barometer und Electrometer mit einer Genauigkeit verzeichnen, daß sein strenger Gebieter, der indessen der Ruhe pflegte oder in ernste Forschungen und Rechnungen vertieft war, von Augenblick zu Augenblick den Stand seiner Instrumente verfolgen kann. Ein einfacher Apparat verrichtet diese Arbeit, die sonst eine große Geisteskraft des Beobachters in Anspruch nahm, rein mechanisch, bewußtlos und doch tadellos. Ein kleiner Spiegel an der Spitze der Magnetnadel oder auf der Oberfläche der Quecksilbersäule wirft das Licht einer Lampe auf einen fernen, im Dunkeln stehenden Schirm. Dieser Schirm trägt ein empfindliches

Papier und ist auf einen Cylinder befestigt, der sich innerhalb 24 Stunden genau einmal um seine Axe dreht. Der Lichtreflex, der alle Bewegungen der Magnetnadel mitmacht, zeichnet nun durch den Einfluß, den er auf das empfindliche Papier macht, seinen Weg auf demselben ab, und der Beobachter hat nichts zu thun, als diese Zeichnung durch eine der erwähnten Waschungen bleibend zu machen, um das Verzeichniß aller Veränderungen seines Instruments darin zu lesen.

Welche glänzende Entwicklung dieser Erfindung auch noch vorbehalten sein mag, welchen Rang ihr auch die Zukunft unter den menschlichen Künsten anweisen, welche Dienste sie der ernsten Wissenschaft noch leisten mag, uns kümmert vor allem das geheimnißvolle Wunder, das in ihren einfachen und verwickelten Vorgängen sich birgt, und das nicht größer werden kann, weder durch den Glanz, in den es sich hüllt, noch durch die Anerkennung, die ihm gezollt wird. Auf den ersten Blick scheint es kaum möglich den Schleier zu lüften, der die geheimnißvollen Vorgänge bei diesen Processen bedeckt, zumal der Chemiker oft nicht im Stande ist, durch seine Analysen auch nur die geringste chemische Veränderung nachzuweisen, wo doch in wenigen Secunden unter der Einwirkung gewisser chemischer Stoffe in wunderbarer Schärfe das Bild hervortritt. Dennoch werden wir wenigstens einen Faden finden, der uns zu einem Verständniß leitet und diese wunderbare Erscheinung mit der besser erkannten großen Welt wieder verknüpft.

Ein solcher Faden bietet sich uns in den einfachen

chemischen Vorgängen dar, durch welche das Chlorsilber vom Lichte geschwärzt und das dunkle Bild dann auf dem Papiere mit Hülfe des unterschwefligsauren Natrons fixirt wird. Hier tritt in der That eine chemische Veränderung ein. Das Chlorsilber wird durch das Licht zum Theil seines Silbers beraubt, und da das unterschwefligsaure Natron nur das Chlorsilber durch Bildung eines Doppelsalzes aufzulösen vermag, so bleibt das durch das Licht befreite Silber auf dem Papiere zurück und zeichnet zum Danke das Bild seines Befreiers. Die Zersetzung des Chlorsilbers selbst durch den Einfluß des Lichts können wir uns nicht anders vorstellen, als in einer durch seine Schwingungen bewirkten Erschütterung der Atome desselben.

Minder leicht zu erklären scheint die Wirkung der sogenannten beschleunigenden Substanzen, die ein Bild hervorzaubern, wo das Licht durch die Kürze der Zeit noch nicht im Stande war, die zarteste Schwärzung des Chlorsilbers zu bewirken. Wir finden aber jenen Faden wieder in der außerordentlichen Uebereinstimmung zwischen den chemischen Wirkungen jener Stoffe und denen des Lichts. Eisenvitriol und Pyrogallussäure zeichnen sich durch ihre große Neigung zu Sauerstoff und Chlor aus, und entziehen diese allen Körpern, die sie nicht sehr fest gebunden haben. Eisenvitriol verwandelt sich an der Luft unter Aufnahme von Sauerstoff in ein Oxydsalz, Pyrogallussäure färbt sich braun und setzt eine dunkle huminartige Substanz ab. Gold wird aus der Lösung des Chlorgoldes durch diese Stoffe metallisch aus-

geschieden, und Silber aus der Auflösung salpetersauren Silberoxyds wenigstens nach einiger Zeit gefällt. So bewirken also diese Substanzen auf dem mit Chlorsilber getränkten Papiere, was das Licht durch die kurze Zeit seiner Einwirkung nicht vollenden konnte. Denn eine chemische Zersetzung hat durch das Licht jedenfalls noch nicht stattgefunden, wenn die Einwirkung des Eisenvitriols oder der Pyrogallussäure beginnt. Es kann also durch den Einfluß der Lichtschwingungen wohl nur eine Erschütterung und Lockerung des Zusammenhangs zwischen den kleinsten Theilen des Chlors und Silbers eingetreten sein, ähnlich jenen Vorgängen, welche die Erscheinung des Leuchtens oder Phosphorescirens bei gewissen Substanzen nach längerer Bestrahlung durch das Licht hervorrufen. Wenn also sonst bei längerer und stärkerer Bestrahlung des Lichts die Lockerung des Zusammenhangs in eine gänzliche Abtrennung der Bestandtheile übergeht, so übernehmen hier Eisenvitriol und Pyrogallussäure durch die Macht ihrer chemischen Verwandtschaft die Fortführung und Vollendung der bereits durch das Licht eingeleiteten Scheidung der Bestandtheile.

Die wunderbarste Erscheinung bei allen Vorgängen der photographischen Kunst ist jedenfalls das Hervorrufen der Daguerre'schen Bilder durch Quecksilberdämpfe. Sie gleicht durchaus jenem Spiele des Kindes, das die Zeichnungen, die es zuvor mit seinen Fingern auf die Fensterscheibe geschrieben, durch seinen Hauch sichtbar macht, nur daß die Natur mit Lichtstrahlen statt der Finger ihre Bilder zeichnet. Jenes kindliche Spiel verliert freilich

bereits von seiner Einfachheit viel durch die Beobachtung Moser's, daß schon die bloße Berührung genügt, um genaue Abbilder auf der Oberfläche von Körpern zu erzeugen, so daß, wenn man einen Achatstempel auf eine gereinigte Glasplatte oder polirte Silberplatte stellt und selbst in einem völlig dunkeln Raum einige Zeit damit in Berührung läßt, durch Behauchen der Glasplatte oder durch Ausströmen von Quecksilberdämpfen gegen die Silberplatte ein deutliches Bild des Stempels auf der Platte erzeugt wird. Es scheint also, als ob die bloße Berührung mit irgend einem Körper den berührten Stellen einer Fläche die Eigenschaft ertheile, Dämpfe anders zu verdichten, als es an den unberührten Stellen geschieht.

Diese schon an sich räthselhafte Erscheinung wurde noch räthselhafter durch eine zweite Beobachtung Moser's. Er fand nämlich, daß nicht einmal die Berührung mit einem Körper erforderlich sei, daß schon der bloße Niederschlag von Dämpfen genüge, um Bilder auf einer Platte hervorzurufen. Wenn man aus einem Blatt Papier Figuren ausschneidet und dies Blatt auf eine reine Glasplatte legt und darüber haucht, so erscheinen die Figuren des Ausschnittes, lange nachdem das Papier hinweggenommen und der Beschlag verschwunden ist, bei abermaligem Behauchen immer auf's Neue. Es scheint also, als ob nicht bloß das Licht auf reine Flächen eine Einwirkung ausübe, die sich durch niedergeschlagene Dämpfe sichtbar machen läßt, sondern als ob auch die Verdichtung von Dämpfen ein dem Lichte völlig gleiches Verhalten zeige. Moser schloß daraus, daß bei der Ver-

dichtung der Dämpfe eine Lichtausscheidung, bei der Verdampfung eine Lichtbindung einträte, so daß es gleichsam ein latentes, unsichtbares Licht gäbe, wie es eine latente, unsichtbare Wärme giebt. Moser erklärte geradezu jeden Körper für einen selbstleuchtenden und ließ durch sein für uns unsichtbares Licht selbst im dunkeln Raume Veränderungen an der Oberfläche anderer Körper entstehen, die erst durch die Unterschiede in der Bethauung erkennbar werden.

Wir begegnen hier einer Thatsache, die in der Geschichte der Wissenschaft keineswegs eine seltene ist. Der Drang des Menschen, überall neue, geheimnißvolle Kräfte und Eigenschaften in der Natur zu vermuthen, ist so natürlich, daß selbst der ernste Forscher sich leicht verleiten läßt, für neue Erscheinungen auch neue Kräfte, und wären sie so undenkbar, wie die unwägbare Materie oder das unsichtbare Licht, zu ersinnen. Die kalten, nüchternen Versuche, Erklärungen für das Fremde in dem Reiche des Naheliegenden und Bekannten zu suchen, sind noch so jung und so selten, daß man dem modernen Materialismus, der die geistigen Erscheinungen des Menschen auf stoffliche Grundlagen zurückzuführen versucht, daraus die erheblichsten Vorwürfe gemacht hat. Der Poet mag klagen, daß der Forscher ihm seine duftige Wunderwelt zerstört und das Erhabne, Unbegreifliche in das Gemeine herniederzieht; die Wissenschaft weiß ihm Dank für solche Beleuchtung eines „unsichtbaren Lichts“.

In's Gemeine müssen wir niedersteigen, um die Natur in jenen wunderbaren Processen zu verstehen.

Hier diese zwei Stückchen Kohle sollen uns zu Aufschlüssen verhelfen, welche die Phantasie der ernsten Wissenschaft nicht zu geben vermochte. Wir wissen, daß die Kohle außerordentlich geneigt ist, Dämpfe und Gase in sich zu verdichten, und daß sie diese Eigenschaft vorzugsweise ihrer Porosität verdankt. Das eine dieser Stückchen Kohle ist nun frisch ausgeglüht und rasch unter Quecksilber abgelöscht, also noch völlig rein, das andere ist schon vor längerer Zeit geglüht, also von mancherlei Gasen bereits durchdrungen. Wir pulvern nun beide Stückchen und bestreuen eine frisch polirte Silberplatte zur einen Hälfte mit dem einen, zur andern mit dem andern Pulver. Nach einigen Minuten entfernen wir dies Pulver wieder durch reine Baumwollenflocken von der Silberplatte und behauchen diese nun. Da wo das frisch geglühte Pulver lag, zeigt sich jetzt eine bläuliche, auf der andern Hälfte eine bräunliche Färbung. Diese auffallende Erscheinung kann nur auf Unterschieden in der Bethauung der Silberplatte beruhen. Wenn wir den Hauch unseres Mundes sich soeben auf der Silberplatte niederschlagen sahen, so muß natürlich die Platte von vornherein die Eigenschaft besessen haben, Dämpfe und Gase auf ihrer Oberfläche zu verdichten, und sie muß diese Eigenschaft, wenn auch für uns unsichtbar, zu allen Zeiten in der dunsterfüllten Atmosphäre bethätigen. Eine unsichtbare Gasatmosphäre bedeckt gleichsam alle Körper in ihrem gewöhnlichen Zustande. Nun kommt das frisch geglühte Kohlenpulver, das vermöge seiner außerordentlich vervielfältigten Oberfläche die Gase verdichtende Kraft im

höchsten Grade besitzt, und entzieht der Silberplatte, da wo sie sie berührt, gewaltsam ihre Atmosphäre, und diese befreiten Stellen sind es nun, welche die Wasserdämpfe des Hauches reichlicher verdichten, als die bereits mit Gasen bedeckten Stellen der Platte, denen dies ältere Kohlenpulver nur neue Gase zuzuführen vermochte.

Ganz wie die Wasserdämpfe des Hauches schlagen sich aber auch Quecksilberdämpfe auf Silberplatten nieder und machen durch Unterschiede der Färbung die Verrschiedenheiten in der Gasatmosphäre der Platte sichtbar. Ein mit frisch geglühtem Tripel abgeriebener Stempel zeigt sein Bild auf der mit nicht geglühtem Tripel geputzten Platte, wenn sie nach kurzer Berührung Quecksilberdämpfen ausgesetzt wird. Ein reiner Stempel prägt einer reinen Plate dagegen nie sein Bild auf.

Das unsichtbare Licht Moser's ist damit in das Reich wissenschaftlicher Träume verwiesen, und stoffliche Atmosphären haben seine Stelle eingenommen. So werden wir auch keiner abentheuerlichen Kraft mehr bedürfen, um uns den Ursprung der Daguerre'schen Bilder zu erklären. Wir haben gesehen, daß es genügte, außerordentlich geringe Verschiedenheiten an den Oberflächen der Körper zu erzeugen, um Verschiedenheiten in der Verdichtung des Dampfes zu veranlassen. Wir haben ferner gesehen, daß zum Hervorrufen solcher Unterschiede bei einer polirten Silberplatte schon die bloße Bestrahlung des Sonnenlichts hinreichte, daß diese Unterschiede aber freilich nicht unmittelbar für das Auge wahrnehmbar waren und es erst durch die Verdichtung der Dämpfe

wurden. Wir wissen endlich, daß die Empfindlichkeit des Silbers für das Licht durch seine Verbindung mit Jod, Brom, Chlor ꝛc. außerordentlich gesteigert wird. Wird also auf der Oberfläche einer mit einer unendlich dünnen Schicht von Jodsilber überzogenen Platte in der Camera obscura das Bild eines Gegenstandes aufgefangen, so müssen die verschiedenen Theile dieses Bildes je nach der Lichtstärke und Beschaffenheit der dahingelangenden Strahlen eine entsprechende Veränderung der Jodsilberschicht hervorbringen, die natürlich Anfangs wenigstens diesen Einwirkungen proportional ist. Die Zersetzung des Jodsilbers wird an jeder Stelle genau der Intensität der darauf wirkenden Lichtstrahlen entsprechen; es wird um so mehr Silber ausgeschieden werden, je kräftiger die Strahlen leuchteten.

Genau ebenso aber, wie die durch das Licht herbeigeführten Zersetzungen des Jodsilbers, werden sich dann auch die Verdichtungen der Quecksilberdämpfe auf dieser Platte verhalten, da die aufgenommenen Quecksilbermengen den Mengen des ausgeschiedenen Silbers entsprechen müssen. Das Mikroskop zeigt auf dem Daguerreotypbilde diese außerordentlich kleinen Kügelchen von Silberamalgam und in der That um so dichter, je heller die Lichter des Bildes sind, abnehmend an Zahl in den Mitteltinten, verschwindend in den dunkeln Schatten, welche nur noch die Politur der Silberfläche erzeugt.

Wohl ist es uns gelungen, die Thatsache der chemischen Wirkung des Lichts in allen ihren Einzelheiten uns klar zu machen; aber dem Geheimniß der wirkenden

Ursache selbst sind wir damit noch keinen Schritt näher gerückt. Noch bleibt uns sogar die Frage offen, ob es wirklich jene sichtbaren leuchtenden Strahlen des Lichts, die farbig in unser Auge dringen und mit Farben die Formen der Außenwelt umsäumen, sind, welche auch diese chemischen Wirkungen ausüben, oder ob sich nicht vielleicht ähnlich wie die Wärmestrahlen andre mit ihnen mischen, die weder fühlbar wie die einen, noch sichtbar wie die andern, nur in ihren chemischen Wirkungen ihr Dasein verrathen. Mancherlei Beobachtungen könnten uns in der That an solche besondre, unsichtbare chemische Strahlen glauben machen. Wenn es die leuchtenden Strahlen sein sollen, von denen die chemischen Wirkungen ausgehen, so müssen diese Wirkungen, wie wir bisher auch angenommen haben, durchaus der Helligkeit selbst bei den verschiedenen Farben entsprechen. Aber während die gelben Strahlen für das Auge die hellsten sind, zeigen gerade umgekehrt die brechbarsten Strahlen, die violetten, die kräftigste chemische Wirkung. Läßt man ein Sonnenspectrum auf ein lichtempfindliches Papier fallen, so tritt die Veränderung am schnellsten im äußersten Violett ein, langsamer zu beiden Seiten desselben, im Blau und jenseits des farbigen Spectrums und verschwindet allmälig gegen das Roth hin, wie weit hinaus über die äußersten Grenzen des sichtbaren Farbenbildes. Dieser Umstand, daß die Stärke der chemischen Wirkung einen ganz andern Verlauf durch die Reihe der Farben nimmt, als die Intensität des Lichts für das Auge, und daß eine chemische Wirkung wahrnehmbar wird selbst an

einer Stelle des Spectrums, die für das Auge völlig dunkel ist, verbunden mit dem Umstande, daß Substanzen, die für unser Auge helles Licht hindurch lassen, die chemische Wirkung schwächen oder vernichten können, und umgekehrt, hat wirklich zu der Annahme besonderer chemischer Strahlen Veranlassung gegeben.

Aber diese „chemischen Strahlen" gehören ebenso in das Reich wissenschaftlicher Traumgebilde wie Moser's „unsichtbares Licht". Die genaue Uebereinstimmung, welche sich zwischen chemischen Strahlen und Licht in den Bewegungsgesetzen, in Brechung, Zurückwerfung, Beugung zeigt, die genaue Uebereinstimmung selbst der Frauenhofer'schen Linien im chemischen, wie im farbigen Sonnenspectrum, abgesehen von der im ersteren eintretenden Ausdehnung über das Violett hinaus, lassen keinen Zweifel übrig, daß mindestens dieselben Aetherschwingungen der einen wie der andern Erscheinung zu Grunde liegen. Wenn aber die chemische Wirkung eine andere Ausdehnung des Spectrums zeigt, als das Auge empfindet, so liegt es gewiß nahe genug, die Ursache im Auge, nicht aber in den Schwingungen des Aethers zu suchen. Die Empfindlichkeit unseres Auges ist keineswegs so unveränderlich; es vermag recht wohl noch jenseits des Roth und Violett Licht wahrzunehmen, sobald es nur gegen die helleren Strahlen des Spectrums geschützt wird. Dann aber hängt ja doch auch für die chemischen Strahlen die Ausdehnung des Spectrums von der Substanz des Prismas sowohl als von der des lichtempfindlichen Papiers ab; es kommt mit einem Worte darauf an, welche Strahlen

absorbirt werden. Nun haben aber Versuche, die man mit der Linse eines Auges angestellt hat, gezeigt, daß ein durch dieselbe erzeugtes Spectrum auf einem lichtempfindlichen Papiere jenseits des Violett kaum die leiseste Wirkung noch hervorbringt, daß also durch die Substanz des Auges alle jenseits des Violett gelegenen Strahlen absorbirt, also unsichtbar gemacht werden.

Dieser Umstand ist aber zugleich geeignet, uns eine Aufklärung zu schaffen über die Verschiedenheit, welche sich für die Farbenreihe zwischen der größten Intensität des Lichts für das Auge und der für die chemischen Wirkungen zeigt. Wenn man durch ein gefärbtes Glas auf ein Farbenspectrum sieht, so erscheint nicht mehr das Gelb als die hellste Stelle, sondern eine andre von der Färbung des Glases abhängige Stelle, das Roth, wenn man durch ein rothes, das Blaue, wenn man durch ein blaues Glas sieht. Das Licht aber, welches durch ein solches Glas hindurchgegangen und geschwächt worden ist, kann nun durch ein zweites Glas von derselben Beschaffenheit hindurchgehen, ohne irgend eine beträchtliche Schwächung zu erleiden, während ein Glas von anderer Beschaffenheit es abermals und auf's Empfindlichste beinträchtigen würde.

Wenn also in einem Prisma, durch welches wir das Spectrum dargestellt haben, die Intensität der Farbe geschwächt worden ist, so werden doch solche Farben ohne weitere Schwächung in unser Auge eindringen können, für welche die Substanz des Auges dieselbe Schwächung bewirkt, wie das Prisma; dagegen werden alle diejenigen

Strahlen, für welche das Absorptionsvermögen des Auges von der des Prismas verschieden ist, nicht mehr in das Auge zu dringen vermögen. Wie mit dem Auge verhält es sich aber auch mit den lichtempfindlichen Stoffen, etwa mit Jod- oder Chlorsilberpapier. Das Auge ist also für Strahlen mittlerer Brechbarkeit sehr empfindlich, weil diese Strahlen in unsern farblosen Prismen und im Auge auf gleiche Weise geschwächt werden; das Jodsilber dagegen besitzt seine Empfindlichkeit aus ähnlichem Grunde für die Strahlen größerer Brechbarkeit. Das Auge ist wenig empfindlich für die brechbareren Strahlen, das Jodsilber für die minderbrechbaren, weil eine andere Absorption im Prisma, als im Auge oder im Jodsilber stattfindet.

Mit dieser Beseitigung des Gespenstes der „chemischen Strahlen" drängt sich uns lebhafter als je der Gedanke eines innigen Zusammenhanges zwischen den Farben und den chemischen Wirkungen des Lichts auf. So lange die chemischen Strahlen für andere als die farbigen galten, war es noch möglich, daß jene wunderbaren Lichtbilder, deren Erzeugung gegenwärtig den Gegenstand einer besondern Kunst bildet, unabhängig von der Farbe, gleichsam von den erleuchteten Formen der Naturdinge gezeichnet wurden. Die Erscheinung ist jetzt eine andere geworden; die Farben selbst sind die Zeichner, und die Erwartung liegt nicht fern, daß es gelingen werde, nicht die Formen der Dinge, nicht ihre Schatten und Lichter allein, sondern auch ihren bunten Farbenschmuck in der-

selben Treue auf der empfindlichen Platte sich spiegeln zu sehen. Die Versuche sind bereits gemacht.

Noch ist der Wissenschaft auf dem photographischen Felde ein letzter Triumph vorbehalten, und sie wird ihn feiern, wenn es ihr gelingt, die Natur zu zwingen, Gemälde statt der Zeichnungen, warme Farbenharmonien statt kalter Schattenbilder zu liefern und so mit der wunderbaren Treue der Zeichnung auch die Zartheit des Kolorits zu vereinigen. Schon ist ein erster Schritt auf diesem neuen Kunstgebiete gethan.

Längst war es der Wissenschaft durch die Beobachtungen Seebeck's bekannt, daß mit weißem, noch feuchtem Chlorsilber bestrichenes Papier unter der Einwirkung des Sonnenspectrums Farben annimmt, die denen der Strahlen ähnlich sind, von welchen es berührt wurde. Da gelang es im J. 1848 dem französischen Physiker Edmund Bequerel, auf einer galvanisch mit einer violetten Chlorsilberschicht überzogenen Silberplatte das Bild des Sonnenspectrums in überraschender Treue darzustellen. Namentlich wurden die Farbentöne lichter und lebendiger, wenn die Platte zuvor etwas erwärmt oder, was eine ziemlich gleiche Wirkung hervorbrachte, mit rothem Lichte bestrahlt war. Freilich geschieht die Hervorrufung dieser Farben außerordentlich langsam und erfordert selbst bei Einwirkung directen Sonnenlichts 2—3 Stunden. Ueberdies ruft jeder farbige Strahl auf der empfindlichen Schicht, die er trifft, nur während eines Uebergangszustandes die ihm entsprechende Farbe hervor; sobald die chemischen Umwandlungen, welche die Strah-

len bewirken, ganz beendigt sind, sind auch die Farben verschwunden. Die erzeugten farbigen Bilder haben also nur im Dunkeln Bestand; und noch ist kein Mittel gefunden, sie zu fixiren, d. h. gegen die weiteren Einwirkungen des Lichts zu schützen. Mag dieses Mittel nun gefunden werden oder nicht; der erste Versuch mit dem Lichte zu malen, ist wenigstens gemacht.

Ein weiterer Fortschritt ist bereits von Niepce de Saint Victor, dem Neffen des berühmten Erfinders der Photographie, angebahnt worden. Bequerel's Versuche führten ihn auf den originellen Gedanken, daß zwischen der Farbe, die von gewissen Stoffen der Flamme ertheilt wird, und der, die das Licht auf einer mit einer Chlorverbindung desselben Stoffs behandelten Silberplatte hervorruft, ein Zusammenhang bestehen möchte. Die Versuche bestätigten seine Vermuthung. Strontium gab vorherrschend rothe, Chlorcalcium orange, Kupferchlorid blaue oder grüne Zeichnungen. Eine Mischung der verschiedenen Substanzen, deren jede für sich eine besondre Farbe gab, lieferte die lebhaftesten Farben; freilich mußte das rechte Verhältniß getroffen sein, wenn nicht eine Farbe die andre aufheben sollte. Auch diese Bilder ist es noch nicht gelungen zu fixiren, wenn man sie auch für den Augenblick dadurch festzuhalten vermag, daß man sie einer durch Kochsalz gefärbten Alkoholflamme aussetzt. Das sind die rohen Anfänge einer neuen Kunst, die vor wenigen Jahrzehnten noch für ein phantastisches Märchen gelten konnte, und die heute bereits zu den wichtigsten Problemen der Wissenschaft zählt.

Ehe wir ganz von diesen wunderbaren Wirkungen des Lichts scheiden, nimmt uns noch ein Gedanke in Anspruch. Wir hatten ein unsichtbares Licht im eigentlichen Sinne geleugnet, obgleich wir zugeben mußten, daß es jenseits der violetten Strahlen des Sonnenspectrums noch Lichtstrahlen gebe, die von unserm Auge nicht mehr empfunden werden. Wir hatten uns dahin ausgesprochen, daß diese äußersten brechbaren Strahlen nicht etwa darum uns unsichtbar bleiben, weil die Netzhaut unseres Auges keine Empfänglichkeit mehr für sie besitzt, sondern nur darum, weil sie durch die eigenthümlichen brechenden Substanzen unseres Auges gehindert werden, bis zur Netzhaut vorzudringen. So einleuchtend diese Ansicht auch erscheinen mußte, so sind wir doch noch einen eigentlichen Beweis schuldig geblieben, und wir werden keinen bessern Beweis liefern können, als wenn es uns gelingt, diese unsichtbaren Strahlen, auf deren Dasein wir bisher nur aus chemischen Wirkungen schließen konnten, auf irgend eine Weise sichtbar zu machen. Das ist aber in der That seit einigen Jahren gelungen, durch die von Stockes im J. 1852 entdeckte merkwürdige Erscheinung der Fluorescenz.

Schon Brewster und John Herschel hatten eigenthümliche Erscheinungen beobachtet, welche im Innern gewisser Substanzen eintreten, wenn Sonnenlicht in dieselben geleitet wird. Namentlich war es eine Lösung von schwefelsaurem Chinin, welche Interesse erregte. Während sie nämlich im durchgelassenen Lichte sich vollkommen farblos und durchsichtig zeigte, erschien sie bei

auffallendem Lichte, wenigstens unter gewissen Einfalls-winkeln, in einer schönen, himmelblauen Farbe. Diese Färbung konnte offenbar nur in einer dünnen Schicht der Oberfläche entstehen, welche also das Licht in seinen Eigenschaften wesentlich verändern, das durchgehende, ohne es merklich zu schwächen, seiner farbenerzeugenden Wirkung völlig berauben mußte. Diese eigenthümliche innere Zerstreuung des Lichts tritt noch entschiedener hervor, wenn man die schwefelsaure Chininlösung den verschiedenfarbigen Strahlen eines reinen Sonnenspectrums aussetzt. Führt man die Flüssigkeit von der Seite des Roth her in das Spectrum, so geht das Licht anfangs unverändert hindurch, wie etwa durch eine Wasserschicht von gleicher Dicke. Erst im Blau des Spectrums beginnt in Folge der eintretenden innern Zerstreuung das Leuchten der Flüssigkeit, das zuerst in einer schwachröthlichen Färbung auftritt, sich weiterhin mit Gelb mischt und an der Grenze des Blau und Indigo immer heller wird und etwas Grün zeigt. Im Indigo des Spectrums wächst die Helligkeit und grünliche Färbung des zerstreuten Lichts in der Flüssigkeit, geht allmälig in ein blasses Blau, endlich in ein tiefes Blau über, das in der Mitte des Violett wieder weißer wird, bis es jenseits der Grenzen des Spectrums erlischt, und nur noch ein weißer geisterhafter Schein quer durch die Flüssigkeit schießt.

Die Erklärung dieser wunderbaren Thatsache ist das Verdienst der umfassenden und scharfsinnigen Untersuchungen von Stockes. Ihm war der Umstand, daß der Durchgang durch eine dünne Schicht einer Chininlösung

hinreicht, um das Sonnenlicht jener Strahlen zu berauben, welche das eigenthümliche farbige Leuchten der Flüssigkeit erzeugen, während die zerstreuten Strahlen selbst oft eine Schicht von mehreren Zollen durchdringen können, der unzweifelhafte Beweis, daß die Strahlen, welche die Zerstreuung bewirken, anderer Natur sind, als die von der Flüssigkeit zerstreuten. Es war nur noch die Art der hier vorgegangenen Veränderung nachzuweisen. Nach der Ansicht, welche wir auch zu der unsrigen gemacht haben, daß das Licht aus schwingenden Wellen besteht, ließen sich keine andern Aenderungen denken, als entweder in der Gestalt und Lage der Bahn der schwingenden Theilchen, oder in der Geschwindigkeit der Schwingungen. Die Bahn der schwingenden Theilchen wird für uns noch den Gegenstand einer besondern Betrachtung bilden müssen. Wir werden uns dann überzeugen, daß der Physiker Mittel besitzt, diese Bahnen zu messen, und so klein sie sind, jede Veränderung derselben sichtbar zu machen. Die Anwendung dieser Mittel überzeugte Stockes, daß solche Veränderungen hier keine Stelle haben. Die Veränderungen des Lichts in der Chininschicht konnten also nur Veränderungen der Schwingungsdauer, oder was dasselbe ist, der Brechbarkeit sein. Es mußten wirkliche Farbenwandlungen hier vorgegangen sein. Das war bis dahin ein völlig undenkbarer Gedanke gewesen. Noch hatte man, wie mancherlei Modificationen man den Lichtstrahl auch unterworfen hatte, eine veränderte Brechbarkeit desselben nicht beobachtet. Hier wurde es trotz aller Theorie zur Thatsache. Es

blieb nichts übrig als anzunehmen, daß die unsichtbaren Strahlen jenseits des äußersten Violett durch eine innere Zerstreuung andere Strahlen von einer Brechbarkeit veranlassen, daß sie innerhalb der Grenzen fallen, innerhalb welcher die Netzhaut des menschlichen Auges allein zu Empfindungen gereizt wird. Die geringe Dicke der beobachteten blauen Zone ist zugleich ein Beweis, daß die Flüssigkeit ungeachtet ihrer großen Durchsichtigkeit für sichtbare Strahlen, doch fast undurchsichtig ist für die unsichtbaren.

Da wir diese wunderbare Farbenzerstreuung im Tageslichte unter gewöhnlichen Umständen nicht wahrnehmen, so könnten wir meinen, es hier mit einer Erscheinung zu thun zu haben, die äußerst selten wäre und ausnahmsweise nur bei einigen wenigen Körpern aufträte. Der Physiker weiß jetzt, daß dem nicht so ist, daß diese Erscheinung eine ganz allgemeine, allen Stoffen, wenn auch in geringerem Grade zukommende ist. Zu den Stoffen, welche am auffallendsten diese Eigenschaft bethätigen, gehören außer der Lösung schwefelsauren Chinins der grüne Flußspath, die Lösungen verschiedener Uransalze und mit Uranoxyd gelb gefärbtes Glas, Auskochungen und Auszüge der Rinde von Roßkastanien, von Krapp, von Stechapfelsamen, einige Arten von rothem Tang und die wässerige Lösung seines Farbstoffs, alkoholische Lösungen des grünen Farbstoffs der Blätter, Lösungen von Orseille und Lakmus, Papiere, mit solchen Lösungen getränkt, Safflorroth, scharlachfarbnes Tuch ꝛc. Beim grünen Flußspathkrystalle, von dem der Name der

Fluorescenz herrührt, beginnt das zerstreute Licht bereits an der brechbarsten Grenze des Roth sich zu zeigen.

Natürlich ist sowohl die Stelle im Sonnenspectrum, an welcher zuerst das zerstreute Licht sichtbar wird, als auch die Farbe und Intensität, mit der es leuchtet, für die verschiednen Substanzen, welche man der farbigen Bestrahlung im Sonnenspectrum aussetzt, sehr verschieden. Unter den Stoffen, welche in grünem Lichte fluoresciren, zeichnet sich unser farbloses Glas aus. Diese Thatsache ist für die Farbenempfindung unseres Auges von besondrer Wichtigkeit. Da nämlich für jedes solches zerstreutes Licht ein Theil der chemischen Strahlen verschluckt werden muß, so dürfen wir nicht länger hoffen, in einem durch Glasprismen oder Glaslinsen gebildeten Spectrum des Sonnenlichts noch alle im Violett und jenseits des Violett liegenden Strahlen vor uns zu haben. Es ist vielmehr nicht unwahrscheinlich, daß über das Violett hinaus die Strahlen nur darum nicht von unsern Augen empfunden werden, weil sie im Glase durch jene Absorption so geschwächt worden sind, daß sie auf unsere Netzhaut keinen empfindlichen Eindruck mehr hervorzubringen vermögen. Gäbe es also eine Substanz, welche für die Strahlen jenseits des Violett besser durchsichtig wäre als das Glas, so würden wir in dem Spectrum, welches durch ein Prisma aus dieser Substanz erzeugt würde, vielleicht noch weit jenseits des Violett farbiges Licht erblicken, vorausgesetzt, daß diese Strahlen noch kräftig genug wären, um von der Netzhaut unseres Auges unmittelbar oder durch die auf ihr bewirkte Zer=

streuung wahrgenommen zu werden. Eine solche Substanz aber giebt es in der That, und unsere Netzhaut ist auch in der That für Strahlen von so außerordentlicher Brechbarkeit empfindlich. Diese Substanz, welche also an Durchsichtigkeit das Glas weit hinter sich läßt, ist der Quarz oder Bergkrystall. In dem Spectrum eines Quarzprismas vermag unser Auge auch diese übervioletten Strahlen zu sehen, in tief indigblauer oder mehr weißlich blauer Färbung, je nachdem jene Strahlen schwächer oder intensiver sind. Unsere Netzhaut zeigt sich also für Strahlen empfindlich, deren Schwingungszahlen ein weit über die Octave hinausgehendes Intervall umfassen.

Aber diese Fluorescenz ist noch von einer andern Bedeutung. Sie lehrt uns nicht blos die Substanzen kennen, welche mehr oder minder den Durchgang der chemischen Strahlen hindern, sie lehrt uns auch die verschiedenen Lichtquellen schätzen nach ihrem Gehalte an wirksamen chemischen Strahlen. Ein Licht, welches die Erscheinung der Fluorescenz nicht eintreten läßt, besitzt auch keine chemischen Strahlen und wird auch überall da unbrauchbar sein, wo es auf die Wirkung solcher Strahlen ankommt. Im Lichte der Kerzen und Kamphinlampen fehlten die chemischen Strahlen fast gänzlich; die photographische Kunst muß also auf ihre Dienste verzichten. Die schwache Weingeistflamme dagegen, die Naphthaflamme, die Wasserstoffflamme zeigen diese wirksamen Strahlen in hohem Grade. Am reichsten an solchen unsichtbaren, stark brechbaren Strahlen haben sich bisher die Flammen im Sauerstoffgas brennenden Schwe-

fels oder Phosphors und vor allen das electrische Licht erwiesen. Als Stockes mittelst Quarzprismen von dem starken, zwischen Metallspitzen erzeugten Lichtbogen einer mächtigen Voltaischen Säule ein Spectrum bildete, übertraf dieses Spectrum nicht weniger als 6 bis 8 Mal den sichtbaren Theil eines von einem Glasprisma erzeugten Sonnenspectrums. Welche bedeutsamen Winke müssen aus solchen Beobachtungen noch für unsre jugendliche photographische Kunst hervorgehen!

Ehe wir diese wunderbare Erscheinung verlassen, sei noch ein Blick geworfen auf die Vorgänge im Innern der Körper, welche durch sie angedeutet werden. Jene Substanzen waren unter den Einflüssen des wirksamen Lichts geradezu zu selbstleuchtenden geworden. Nun kann aber das Licht selbstleuchtender Körper nur aus den schwingenden Bewegungen seiner eignen kleinsten Theilchen hervorgehen, und es bleibt uns also nichts übrig als anzunehmen, daß die einfallenden Schwingungen jenes Aethers, den der Physiker als Träger des Lichts voraussetzt, schwingende Bewegungen in der Masse jener empfindlichen Substanzen hervorrufen, und daß diese Schwingungen der Massentheilchen wieder im Aether neue Schwingungen erzeugen, welche die Empfindung jenes zerstreuten Lichts verursachen. Diese Schwingungen von Massentheilchen können wir aber nicht anders auffassen, als gleichsam als einen Anlauf zu einer chemischen Zersetzung, gerade wie wir es bei den chemischen Wirkungen des Lichts in der Photographie gethan haben. Wenn aber damals das Licht wirklich chemische Verbindungen zu zer-

legen vermochte, so reicht hier seine Kraft zu einer vollständigen Trennung der Bestandtheile nicht aus und genügt gleichsam nur, um den Zusammenhang der Atome wesentlich zu stören. Darum aber tritt diese Lichterscheinung so vorzugsweise bei organischen Verbindungen auf, in denen der Zusammenhang der Bestandtheile anerkanntermaßen ein besonders lockerer ist; darum pflanzt sich auch diese Eigenschaft in so auffälliger Weise von einer chemischen Substanz durch alle ihre verschiedenen Lösungen und Verbindungen fort.

Wir stehen hier bei einem Punkte, der für die heutige Wissenschaft vom höchsten Interesse geworden und bestimmt ist, den Ausgangspunkt einer neuen Weltanschauung zu bilden. Wir sind gezwungen, hier einen flüchtigen Blick in den großen Haushalt der Natur zu thun. Licht ist in gewissen Körpern absorbirt, denn Lichterscheinungen sind vernichtet worden. Nach den Ansichten, wie sie noch zu Ende des vorigen Jahrhunderts bestanden, liegt nichts Befremdendes darin. Nahm man doch damals an, daß beim Stoße und bei der Reibung zweier Körper gegen einander einfach lebendige Kraft verloren gehe. Aber die neuere Wissenschaft hat erkannt, daß in der Natur nichts verloren geht, daß keine Bewegung schlechthin zur Ruhe kommt, sondern nur in andre Bewegungen übergeht, die wir mit andern Namen bezeichnen. Jeder Stoß und jede Reibung erzeugt Wärme; für jedes Fußpfund Arbeit, das verloren geht, entsteht immer eine genau bestimmte Menge von Wärme, und für jedes Fußpfund durch Wärme gewonnene Arbeit verschwindet wieder jene Menge von Wärme.

Kurzum, die beim Stoße scheinbar verlorene Bewegung der ganzen Massen geht in eine Bewegung der kleinsten Theilchen über, wie umgekehrt bei Erzeugung von Triebkraft durch Wärme die Bewegung der kleinsten Theile in eine solche der ganzen Masse übergeht.

Weil Wärme und Licht nicht mehr als ausströmende Stoffe, sondern in der Form schwingender Bewegungen angeschaut werden, müssen auch sie sich unter jenes im ganzen Weltall herrschende Gesetz der „Erhaltung der Kraft" beugen. Licht kann so wenig verloren gehen, als die mechanische Bewegung eines stoßenden oder reibenden Körpers. Die heutige Wissenschaft muß selbst für jene kleine Kraft, welche bei der Absorption des Lichts aufgewandt wird, eine Gegenleistung, einen Arbeitsersatz suchen. Da wo wir eine chemische Zersetzung eintreten sahen, hatten wir in dieser den erkennbaren Ersatz für das verschwundene Licht. Hier, wo die unsichtbaren Strahlen des Spectrums in den fluorescirenden Substanzen zur Erscheinung kamen, konnte ebenfalls nur die Bewegung des Lichts auf die Massentheilchen des Körpers sich übertragen haben, und diese Theilchenbewegung gab sich als ein Selbstleuchten der Körper kund. Wo weder chemische Zersetzung noch Selbstleuchten eintritt, da muß eine andre, wenn auch für das Auge nicht mehr erkennbare Arbeit geleistet werden, und wir werden uns nach Sinnen oder Instrumenten umsehen müssen, durch welche wir diese Arbeit zu erkennen vermögen. Wo wir zu suchen haben, kann nicht lange zweifelhaft sein. Wir kennen keine andre Bewegung in der Natur, die der des Lichts näher

stände, inniger mit ihr verbunden sich zeigte, als die Wärme. Wenn die Brechbarkeit eines Lichtstrahls eine solche Veränderung erleidet, daß sie unter die der äußersten rothen Strahlen des Spectrums sinkt, so kann das Auge sie nicht mehr als Licht empfinden, aber feine Wärmemesser werden dann eine Wärmestrahlung nachzuweisen vermögen.

Unsere Aufmersamkeit wird damit auf die Wärme übergeleitet, und wir wollen versuchen, ob wir jenes Sonnenspectrum, wie wir es nach der einen Seite hin durch die chemischen Strahlen erweiterten, nach der andern durch die Wärmestrahlen auszudehnen vermögen. Auch die Wärme beruht auf schwingenden Bewegungen, auch die Wärmestrahlen werden gebrochen nach denselben Gesetzen, wie die Strahlen des Lichts; es gilt nur, die entsprechenden Erscheinungen aufzusuchen, eine Wärmetonleiter, wie wir eine Lichttonleiter fanden, Wärmefarben, wie wir Lichttöne erkannten. Wir wollen es mit nüchternen wissenschaftlichen Worten bezeichnen: es gilt, Wärmestrahlen von verschiedener Brechbarkeit nachzuweisen.

Als wir von der verschiedenen Fähigkeit der Körper, Wärme durchzulassen, sprachen, fiel es uns bereits auf, daß nicht nur der eine Stoff in höherm Grade als der andre sich durchlässig zeigte, das Steinsalz z. B. vollkommner als das Glas oder gar Alaun und Eis, sondern daß solche Unterschiede auch in Bezug auf verschiedene Wärmequellen sich geltend machten. Das Steinsalz allein sahen wir unter allen Umständen seine außerordentliche

Durchlässigkeit gleich gut behaupten, mochten es die leuchtenden Wärmestrahlen einer Flamme oder eines glühenden Metalls, oder einer dunkeln, nicht bis zum Glühen erhitzten Masse sein, welche den Durchgang begehrten. Alle andern Stoffe zeigten eine verschiedene Schwächung je nach der Art der Wärmequelle. Namentlich zeigten sie sich für dunkle Wärmestrahlen fast völlig undurchlässig, während sie die leuchtenden oft fast ohne Schwächung durchließen. Wir erinnern uns noch, wie das Glas unserer Fensterscheiben den Eintritt der Sonnenwärme in unser Zimmer ohne besondere Schwächung gestattet, während es für die dunkle Ofenwärme und die Wärmestrahlungen des Menschen einen undurchdringlichen, schützenden Schirm abgiebt. Wir konnten schon damals kaum der Versuchung widerstehen, wesentliche Unterschiede zwischen den Strahlen verschiedener Wärmequellen und noch bestimmter eine eigenthümliche Beziehung dieser Strahlen zu den Stoffen auf ihrem Wege zu ahnen.

Diese Ahnung wird noch bestimmter durch eine zweite Beobachtung, die wir damals machten. Wenn Lichtstrahlen durch eine durchsichtige, farbige Platte gehen, so verschwinden bekanntlich gewisse Strahlen, aber das übrig bleibende gefärbte Licht kann ohne eine beträchtliche weitere Schwächung noch durch eine große Zahl von Platten derselben Färbung hindurchgehen. Etwas ganz Anderes aber tritt ein, wenn das Licht durch verschieden gefärbte Platten gehen soll. Dann wird die Schwächung bedeutend stärker, um so mehr, je verschiedener die Farben sind, und sie kann bis zur völligen Verdunklung wachsen, wenn

die Farben der Platten jene sogenannten Ergänzungsfarben sind. Es ist natürlich keine Vernichtung der Lichtstrahlen, die hier eintritt, es ist nur eine Zurückweisung, welche alle andern als die rothen Strahlen von rothem, alle andern als die grünen Strahlen von grünem Glase erfahren, und da nun das rothe Glas nur rothe Strahlen durchläßt, für welche das grüne aber völlig undurchsichtig ist, so geben beide vereinigt eben Dunkel. Zu diesem Rückblick auf dies eigenthümliche Verhalten farbiger Körper gegen das Licht werden wir veranlaßt durch ein völlig ähnliches Verhalten, welches nach den Beobachtungen der Wissenschaft verschiedene Körper gegen die Wärme zeigen. Wenn man nämlich Wärmestrahlen durch eine Alaunplatte gehen läßt, so werden sie allerdings geschwächt, und bei einer Platte von Quarz geschieht ihnen ein Gleiches. Nun sollte man aber meinen, daß, wenn man diese Alaunplatte und diese Quarzplatte über einander legt, die Schwächung, welche die Wärmestrahlen jetzt bei ihrem Durchgange erfahren, nicht größer sein werde, als die Summe der einzelnen Schwächungen. Die Beobachtung zeigt, daß die Schwächung allerdings eine wesentlich andre ist. Wärmestrahlen, die einmal durch Alaun gegangen sind, werden von Quarz oder Kalkspath fast gar nicht mehr durchgelassen, obgleich Quarz und Kalkspath jeder für sich für Wärmestrahlen recht wohl durchlässig sind. Eis dagegen, das eine so äußerst geringe Durchlässigkeit für die Wärme besitzt, läßt die aus dem Alaun austretenden Strahlen fast ungeschwächt hindurch. Es ist also grade, als ob wir das eine Mal durch rothe

und grüne, das andre Mal durch farblose oder gleichfarbige Gläser nach der Sonne schauten. Es ist grade, als ob die verschiedenen Stoffe den Wärmestrahlen Etwas ertheilten, was man eine Wärmefarbe nennen möchte, als ob der Alaun etwa eine dem Roth, der Quarz eine dem Grün entsprechende Wärmefarbe besäße. Die Wissenschaft sagt: die Körper thermanisiren die Wärmestrahlen, wie wir von den Lichtstrahlen sagten: die Körper färben sie. Das Eine wie das Andere heißt aber nur: gewisse Körper scheiden die bisher mit einander vereinigten Strahlen von einander, indem sie einigen von bestimmter Wellenbreite den Durchgang gestatten, andern versagen. Bei dem Lichte sehen wir die Färbung; aber für die Wärme besitzen wir kein Auge; hier können wir auf Farben nur schließen aus der Schwächung, welche in Folge der Theilung eingetreten ist. Finden wir, daß die Strahlung der einen Wärmequelle durch ein bestimmtes Mittel anders geschwächt wird, als die einer zweiten, so müssen wir schließen, daß ein Unterschied stattfindet zwischen der Wärmefarbe der Wärmequelle und derjenigen, welche das Mittel besitzt und also auch durchläßt, ein Unterschied, der um so größer ist, je größer die Schwächung.

Wir besitzen freilich noch ein anderes Mittel, um uns von der Existenz von Wärmefarben zu überzeugen. Die Wärmestrahlen werden nämlich bei ihrem Durchgange durch die Körper ebenso gut abgelenkt, gebrochen, als die Lichtstrahlen. Nun bestand aber beim Lichte das Wesen der Farben in der verschiedenen Brechbarkeit der

Strahlen, die auf verschiedener Wellenbreite oder verschiedener Schwingungsgeschwindigkeit beruhte, und wir sahen daher durch eine farblose Glaslinse das Licht in farbige Strahlen zerstreut werden und ein Bild erzeugen, dessen Mitte von den brechbarsten Strahlen, den violetten, dessen Ränder von den am wenigsten abgelenkten, den rothen Strahlen gefärbt wurden. Gibt es also Wärmefarben, so muß eine Zerstreuung, ein ähnliches Wärmebild sich auch hier beobachten lassen, und für die Beobachtungen solcher Ableitungen bedürfen wir keiner Augen; unsre Thermoskope und Thermometer sind dafür empfindlich genug. Wie wir beim Lichte eine möglichst farblose Linse anwenden mußten, so werden wir natürlich auch bei der Wärme für die brechende Linse eine Substanz wählen müssen, welche möglichst unpartheiisch allen Wärmestrahlen den gleichen Durchgang gestattet. Als einen solchen Stoff, der gleichsam für die Wärme die vollkommenste Durchsichtigkeit besitzt, haben wir das Steinsalz kennen gelernt. Lassen wir durch eine solche Steinsalzlinse Wärmestrahlen hindurchgehen, so zeigt uns unser Thermometer, daß nicht bloß die Wärme verschiedener warmer Körper verschieden abgelenkt wird, die der leuchtend heißen Körper am meisten, die der dunkelwarmen am geringsten, sondern daß auch dieselbe Wärmequelle fast stets Strahlen verschiedener Art aussendet, die verschieden gebrochen sich zu einem Wärmespectrum ausdehnen, jenem regenbogenfarbigen Spectrum des weißen Sonnenlichts entsprechend. Die Uebereinstimmung wird um so auffallender, als Licht und Wärme so oft in innigem Verein auftreten. Das

Sonnenspectrum, das unser Auge durch die Pracht seiner Farben entzückt, hat auch seine unsichtbare Wärmefarbe. Schon William Herschel beobachtete, als er Sonnenlicht durch ein Prisma in seine farbigen Strahlen zerlegte und das Thermometer durch dieses Spectrum führte, daß an der Grenze des Violett die Erwärmung durchaus nicht merklich größer sei als in dem dunkeln Raum daneben, daß diese Erwärmung aber zunahm, je weiter er durch das Blau, Grün, Gelb, Orange, Roth vorschritt, daß sie ihren höchsten Grad sogar im dunkeln Raume jenseit des Roth erreichte und erst darüber hinaus fern im Dunkel verschwand. Die neuere Forschung hat diese Beobachtung bestätigt und erweitert. Jedes andere Prisma gibt ein andres Spectrum. Das größte Wärmespectrum zeigt ein Steinsalzprisma; hier rückt das Maximum der Wärme weit in den dunkeln Raum diesseit des Roth hinaus, während es bei mit Wasser gefüllten Hohlprismen sich bis in das Gelb zurückzieht. Glas und Wasser sind eben nicht farblos; sie schwächen die Strahlen größerer Wellenbreite in höherem Maße als die von geringerer Wellenbreite; sie entziehen darum einen Theil des Spectrums der Wahrnehmung durch Thermoskope, grade wie ein Glasprisma jenen überviolettem Theil des Sonnenspectrums dem Auge entzog, welcher das Quarzprisma noch sichtbar werden ließ.

So sind also unzweifelhaft neben den verschieden brechbaren Lichtstrahlen, die das Auge als Farbe empfindet, ebenso verschieden brechbare Wärmestrahlen vorhanden. Ja es sind sogar Wärmestrahlen vorhan-

den, welche von keinen farbigen Strahlen mehr begleitet sind, dunkle Wärmestrahlen von großer Hitze, aber von geringerer Brechbarkeit, als sie den am wenigsten brechbaren Strahlen zukommt, die das Auge noch als Licht empfindet, den rothen. Ehe wir das Prisma oder die Linse ihnen entgegenhielten, waren alle diese Strahlen, Licht- und Wärmestrahlen, in trauter Gemeinsamkeit mit einander gegangen; erst die Brechung hatte sie auf verschiedene Wege geleitet, und wir erkannten ihre bunte Fülle.

Wie unendlich reicher ist doch heute ein Sonnenstrahl, als er es vor einem Jahrhundert war! Er ist nicht mehr jene arme Harmonie von Tönen, die kaum eine Octave umfaßte, und die unser Auge allein als Licht und Farbe zu empfinden vermochte. Weit über die Grenzen des äußersten sichtbaren Tons, des Violett hinaus, sehen wir unsichtbare Strahlen sich anschließen, die nur chemisch wirken und nur durch eine Art von Lichtresonanz, die sie in jenen fluorescirenden Stoffen hervorrufen, in tieferen Tönen uns sichtbar werden. Weit über das Roth hinaus schließen sich nun neue Tonreihen an, unsichtbare Strahlen, die nur Wärme wirken und als Wärme empfunden werden.

Dieser wunderbar reiche Sonnenstrahl kleidet nun auch die Körperwelt in einen neuen unsichtbaren Farbenschmuck. Auch die Wärmestrahlen werden farbig von den Flächen zerstreut. Nicht bloß der zurückgeworfene Wärmestrahl trägt das Bild der Wärmequelle in der bestimmten Richtung zurück, auch zerstreute Strahlen tra-

gen es nach allen Seiten. Wie die schwarzen Körper farbige Lichtstrahlen nicht zu zerstreuen vermögen, so gibt auch der Ruß von den Wärmestrahlen verschiedenster Art nichts wieder heraus; auch seine Wärmefarbe ist also schwarz. Matte Metallflächen dagegen zerstreuen Wärmestrahlen jeder Art ziemlich gleich gut; sie entsprechen den weißen Körpern in der Sprache des Lichts. Andre Stoffe zeigen ihr Zerstreuungsvermögen nur gegen bestimmte Wärmestrahlen; sie gleichen den im auffallenden Lichte farbig und bunt erscheinenden Flächen.

Bei einer solchen Uebereinstimmung zwischen Licht- und Wärmeschwingungen können wir nicht länger an der Einheit ihres Wesens zweifeln. Licht und Wärme beruhen auf derselben Wellenbewegung, und nur die Schwingungsdauer unterscheidet sie. Licht und Wärme sind die gleiche Erscheinung, nur von verschiedenen Organen aufgefaßt. Der Nervenapparat der Haut empfindet sogar dieselbe Welle, die das Auge als Licht wahrnimmt; aber er vermag sie nur als strahlende Wärme zu empfinden. Beide Empfindungen sind in unserm Organismus einander so fremd, daß wir uns nicht wundern können, wenn es erst der Wissenschaft der neuesten Zeit gelang, sie auf die gemeinsame Grundlage zurückzuführen. Der Nervenapparat der Haut ist in weitester Ausdehnung für diese Strahlungen empfänglich. Er empfindet die leuchtende Wärme der Sonne, wie die unsichtbaren Strahlen eines heißen Ofens. Aber ihm fehlt das Vermögen, die Farbe der Strahlung, d. h. den Unterschied ihrer Schwingungsdauer aufzufassen; er empfindet die Strahlen der Sonne

als ebenso unterschiedslose Wärme, wie die des Ofens. Auch besitzt die Haut Nichts, was jenen optischen Apparaten entspräche, durch welche unsre Netzhaut die Strahlungen jedes äußeren Punkts im Gesichtsfelde auch auf einen einzigen Punkt der Nervenausbreitung concentrirt und nach ihrer Richtung und Oertlichkeit scharf von allen übrigen sondert.

Aber unser Auge ist dafür in seiner Empfindlichkeit auf einen eng begrenzten Theil der Strahlungen angewiesen. Die brechenden Mittel unsres Auges sind keineswegs farblos, keineswegs unpartheiisch für die Strahlen, welche von ihnen den Durchgang begehren. Die Strahlen von größerer Wellenbreite als die sichtbaren rothen, werden von der Substanz des Auges ebenso absorbirt, wie die chemischen überviolетten. Das Auge verhält sich etwa wie ein Wasserprisma, welches im Gelb das Maximum der Intensität zeigt, weil es Strahlen jeder andern Wellenbreite stärker schwächt. Darum wird auch das Auge in jedem Spectrum, durch welche Substanz es auch erzeugt werden mag, stets die größte Helligkeit im Gelb erblicken. Darum vermag aber auch das Auge nur Strahlen zu erblicken, welche durch Körper gegangen sind, die eine ihm verwandte Wärmefarbe besitzen, etwa Glas oder Wasser, während für ein Thermoskop, dessen Substanz eine andere Wärmefarbe hat, diese Strahlen vielleicht schon zu sehr geschwächt sind, um eindringen, um Wärme anzeigen zu können. Wir haben ja Erscheinungen dieser Art in Menge um uns. Ein Glasspiegel reflectirt die Sonnenwärme so gut wie das

Sonnenlicht; aber er reflectirt nicht mehr die Wärme eines Kerzenlichts. Das Glas schwächt eben die Strahlen der niederen Wärmequelle in so hohem Grade, daß sie nur für einen Körper von derselben Wärmefarbe, also eben für das Auge noch Intensität genug besitzen, um wahrgenommen zu werden, aber nicht mehr für die Thermoskope. Auch der Mond ist ein solcher Spiegel. Das von ihm reflectirte Sonnenlicht wird wohl gesehen und kann selbst stark chemisch wirken; aber seine erwärmende Wirkung ist für unsre Thermoskope von so geringer Intensität, daß Melloni nur mittelst bedeutender Concentrirung der Mondstrahlen und an den empfindlichsten Thermoskopen ihre Wärme nachzuweisen vermochte.

Manches Dunkel in unserer Erkenntniß der Natur ist gelichtet, seit man es aufgegeben hat, Wärme und Licht als unwägbare Stoffe zu betrachten und mit gespenstigen Kraftwesen ein mystisches Spiel zu treiben. Seit man darauf verzichtet hat, nach einer ersten Ursache der Dinge zu forschen, und sich begnügt, eine bewegte Materie zu sehen und den Gesetzen ihrer Bewegung nachzuspüren, schwindet ein Geheimniß nach dem andern aus den Erscheinungen um uns. Das ist wahre Wissenschaft, die klar macht, nicht jene, die immer auf einen dunkeln Punkt, auf einen lichtlosen Urgrund zurückweist. Vorwärts! heißt unsere Losung, zum Licht! Denn Licht ist Bewegung, und licht wird es auch im Geiste nur durch strömende Wellen!

Noch, verhehlen wir es uns nicht, giebt es manches Dunkel, in welches die Wissenschaft ihr Licht zu tragen hat. Noch bedürfen wir der Annahme eines Aethers,

von dem keinem menschlichen Organ bisher eine Kunde geworden, um die Wirkung der Wärme auf die Körperwelt zu erklären. Die Schwingungen dieses Aethers werden sich einerseits vermöge ihrer großen Geschwindigkeit den Massentheilchen eines Körpers mittheilen und die träge Körpermasse in Bewegung zu setzen vermögen. Die massenhaften Körpertheilchen werden andererseits trotz der geringen Geschwindigkeit ihrer Schwingungen die unendlich kleinen Aethertheilchen in Bewegung setzen. So erzeugt der Druck Wärme, und die Wärme Ausdehnung. Nach dieser Vorstellung gibt es in der That keinen absolut kalten oder dunkeln Körper mehr. Jeder Körper ist warm, denn ununterbrochen sind seine Theilchen und die des in ihm enthaltenen Aethers in Schwingungen begriffen. Freilich nehmen wir diese ununterbrochenen Schwingungen ihrer Schnelligkeit wegen nicht immer wahr. Erst wenn die Aetherschwingungen einen gewissen Grad der Intensität erreichen, so daß sie auch die Schwingungen der Körpertheilchen verstärken, werden wir eine Ausdehnung des Körpers erkennen, die bis zu einer Aufhebung des Zusammenhangs der Theilchen, bis zu einer Aenderung des Aggregatzustandes fortschreiten kann. Der Widerstand, welchen die Anziehungskraft der Theilchen ihrer ferneren Trennung entgegensetzt, würde sich uns in jener Wärme kund geben, welche der Körper in sich aufnimmt, ohne sie zur Erhöhung seiner Temperatur zu verwenden, und die wir als latente Wärme bezeichneten. Daß die Leitung der Wärme langsamer erfolgt als die Wärmestrahlung, würde uns endlich aus

dem Umstande begreiflich erscheinen, daß bei jenen Massen in Bewegung zu setzen sind, die im Verhältniß zu den bei der Strahlung bewegten Theilchen des Aethers von ungeheurer Größe sind. Wir würden an das Pendel denken müssen, das erst nach und nach durch wiederholte schwache Stöße in starke Schwingungen versetzt wird.

Auch dieser Aether wird endlich seines mystischen Gewandes entkleidet werden. Dann wird die Wissenschaft von Wärme und Licht vollends zu einem Theile jener Wissenschaft der Mechanik werden, an die sie sich jetzt schon durch die Gesetze der Wellenlehre so innig anschließt. Man bedaure nicht den Verlust der poetischen Reize, die sie jetzt noch schmücken. Mathematische Bestimmtheit ist ein Gewinn, der solche Verluste reichlich aufwiegt. Die wahre Poesie liegt überhaupt nicht in mystischer Unklarheit, sondern in der Verknüpfung der Form mit den ewigen Ideen des Geistes!

Neuntes Kapitel.

Die Form der Licht- und Wärmewellen.

In freier Natur, an einem sonnigen Frühlingstage, hatten wir unsere Betrachtungen über die Erscheinungen der Wellenbewegung in den weiten Gebieten der Natur begonnen. Ein See, ein Mühlengerinne war es, welche uns zuerst einen Blick in dieses wunderbare Wellengebiet werfen ließen, das sich hier noch in seinen gröbsten Umrissen darbot. Der Schall einer Glocke, die

heitern Töne der Musik, der Gesang eines Vogels erfüllten uns bereits mit der Ahnung eines zarteren, geheimnißvolleren Wogens in der Natur. Der Aufenthalt in der Schmiede, der Blick zum Regenbogen und auf das Farbenspiel der Blumen und Schmetterlinge um uns ließ uns immer tiefer in das stille, harmonische und doch so mächtige Regen des Naturlebens schauen und nach einer stillen Musik im Reiche des Lichts und der Wärme forschen. Wir haben diese Musik gefunden, wir haben die Wellen gemessen und gezählt, die in ihr zitterten, wir haben selbst die gesetzlichen Verhältnisse ergründet, welche diese Musik unsern Sinnen in engeren oder weiteren Grenzen zugänglich machte. Aber längst mußten wir die grüne Landschaft verlassen und in das Kabinet des Physikers flüchten, um hier den Faden wieder aufzunehmen, der unsrer Betrachtung draußen entschlüpft war. Es ging uns wie dem Botaniker, der im Walde seine Pflanze findet und aus ihrer äußern Erscheinung, aus der Form von Blüthe und Frucht, aus der Zahl der Staubgefäße und Stempel wohl auf den allgemeinen Charakter der Pflanze zu schließen vermag, der aber, wenn er tiefer eindringen will in das Leben der Pflanze, in ihr Zellgewebe und, ich möchte sagen, in ihrem typischen Gestaltungstrieb, in sein stilles Stübchen heimkehrt, um unter dem Mikroskop zu erforschen, was dem schwachen Auge verborgen blieb. Auch wir trugen den Sonnenstrahl aus der lachenden Frühlingsnatur heim in's trübe Zimmer, und wenn auch kein Mikroskop ihn zu zerlegen und seine Wellen sichtbar zu machen vermochte, so fanden wir doch

andre Instrumente, mit deren Hülfe wir seinen Jahrtausende lang verborgenen Geheimnissen nachforschten.

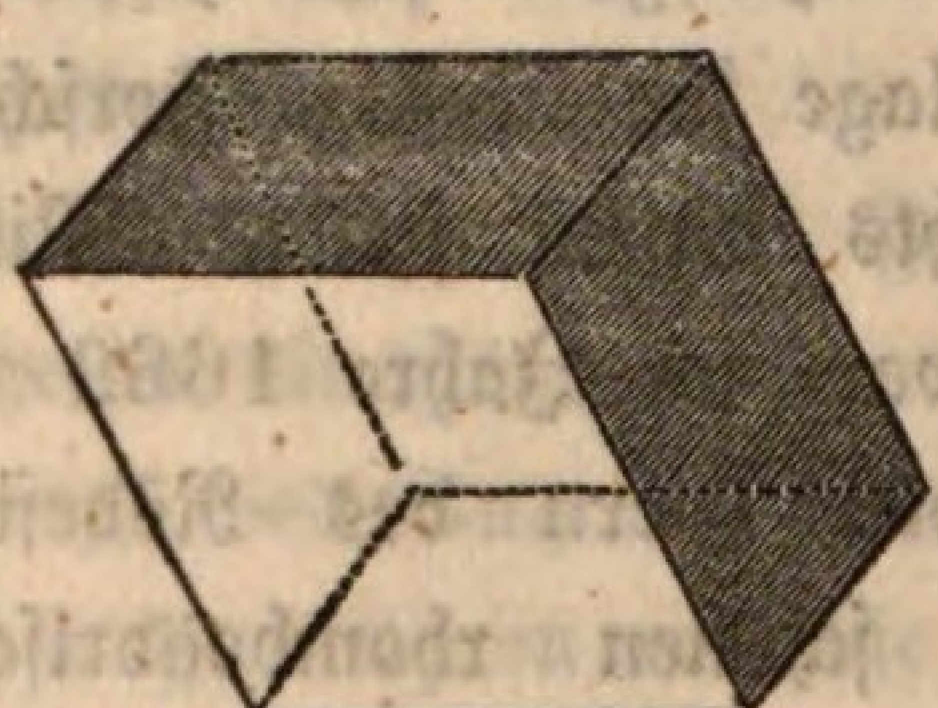
Wir haben die Wellen des Lichts gemessen, selbst jene unsichtbaren, die nur durch chemische Wirkungen einerseits, durch Wärmewirkungen andrerseits ihr Dasein verriethen. Noch bleibt uns übrig, ihre Gestalt, d. h. die Richtung ihrer Schwingungen zu erforschen. So vollenden wir denn, was wir draußen im Anblick kindlicher Spiele begonnen, drinnen unter der Zaubermacht physikalischer Instrumente!

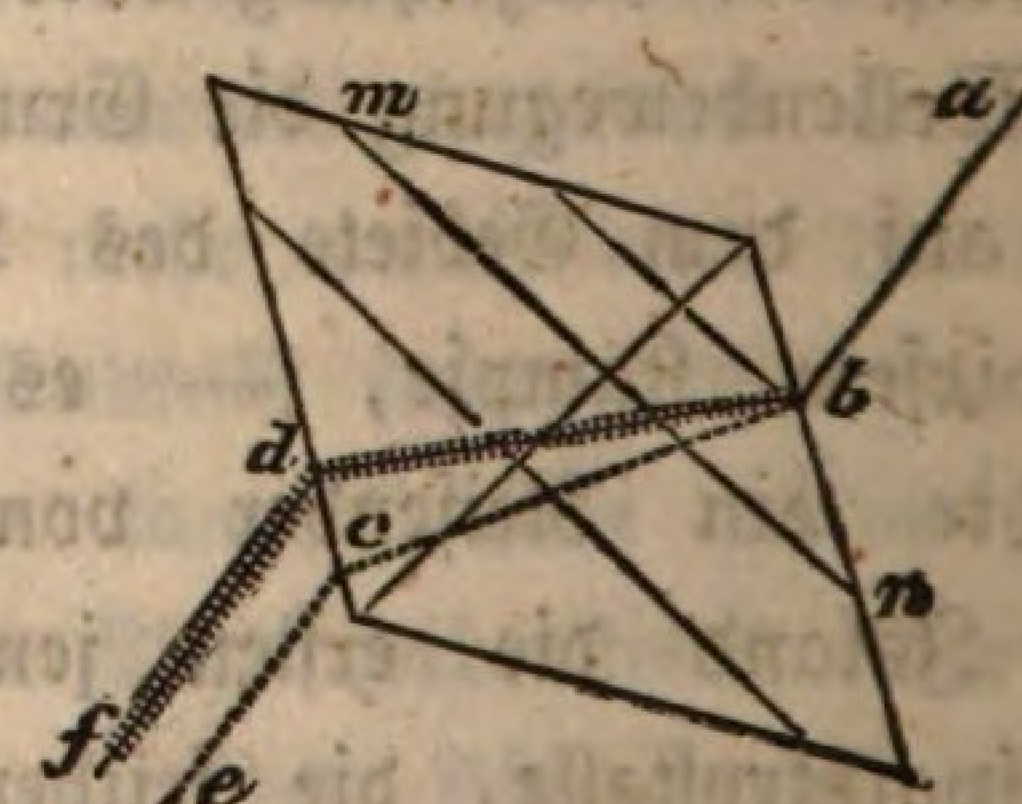
Man hat der Wissenschaft oft den Vorwurf gemacht, sie verwickle sich in Folge ihrer Forschungen immer mehr und werde dadurch der großen Menge immer unzugänglicher. Aber diese Verwicklungen sind grade die fruchtbarsten Keime der Wissenschaft, sie führen zur Klarheit. Es ist wahr, seit man über das Ptolemäische, über das Copernikanische Planetensystem hinausgegangen ist, seit man selbst Keppler's elliptische Planetenbahnen nicht mehr genügend für die Erklärung der himmlischen Bewegungen gefunden hat, seit man die verwickelte Lehre von den Planetenstörungen in die Astronomie eingeführt hat, ist diese Wissenschaft kein Feld mehr, auf dem der Laie mühelos die Früchte der Erkenntniß oder wohl gar die Kränze des Ruhmes pflücken kann. Aber grade diese Störungen waren es, die ein Licht verbreiteten über die Massen der Himmelskörper, die dem Astronomen gestatteten, das Wiedererscheinen der Kometen zu prophezeihen, die ihn selbst zur Entdeckung eines bis dahin unbekannten Planeten führten. So waren es auch die Störungen

in den Bahnen der Lichtstrahlen, die sogenannten Interferenzen, welche uns die Messung der Lichtwellen möglich gemacht haben. So werden es wieder andere Störungen sein, die freilich auf den ersten Blick die Erscheinungen vielleicht bis zur Unlöslichkeit zu verwickeln scheinen, aber in ihrer denkenden Verfolgung uns endlich die Richtung der Lichtschwingungen erkennen lassen und damit die Erkenntniß dieser zarten Wellenwelt bis zu jenem Grade vollenden werden, den wir nur auf dem Gebiete der groben Schall- und Wasserwellen für erreichbar hielten.

Es war um die Mitte des 17. Jahrhunderts, als einer der heftigsten wissenschaftlichen Kämpfe ausbrach, in dem sich die größten Geister des Jahrhunderts, Newton und Huyghens, als Streiter gegenüberstanden. Es galt den Kampf um die Natur des Lichts, um die Ableitung und Begründung des von Cartesius mit mathematischer Strenge aufgestellten Brechungsgesetzes aus einer der feindlichen Lichttheorien, der Emanations- oder Undulationstheorie. Es galt zu entscheiden, ob das Newton'sche Princip der Anziehung oder die Huyghens'sche Hypothese der Wellenbewegung die Grundlage für künftige Forschungen auf dem Gebiete des Lichts bilden sollte. Mitten in diesem Kampfe, — es war im Jahre 1669 — brachte ein Reisender von den Ufern des Rödefiord auf Island die ersten jener schönen rhomboëdrischen Kalkspathkrystalle, die seitdem den Namen des isländischen Doppelspaths führen, nach Kopenhagen. Ihre außerordentliche Durchsichtigkeit bei beträchtlicher Dicke ließ sie für die damals so wichtigen Brechungsversuche beson-

ders geeignet erscheinen. Wiegroß aber war das Erstaunen, als der dänische Physiker Bartholin, dem sie zu diesem Zwecke übergeben wurden, bei seinem ersten Versuche sah, daß in ihnen das Licht sich in zwei abgesonderte Strahlenbündel von völlig gleicher Lichtstärke theilte, daß durch den isländischen Krystall mit andern Worten alle Gegenstände doppelt erschienen. Die Richtung und Größe der Abweichung dieser beiden Strahlen wechselte überdies je nach der Krystallfläche, die man dem Lichtstrahl zuwandte, und je nach der Richtung, in der man ihn einfallen ließ, in so wunderbarer Weise, daß eine Erklärung fast undenkbar erschien. Huyghens gelang es zwar, alle diese Erscheinungen unter ein allgemeines Gesetz zusammenzufassen; aber trotz seiner Einfachheit und Klarheit fand dieses Gesetz keine Anerkennung. Newton hatte das Reich der Speculation zerstört und die Macht der Hypothesen gebrochen; seitdem haßte man die Hypothesen, und Huyghens' Gesetz beruhte ja doch auf einer solchen, auf der Annahme von schwingenden Wellen im Lichte.





Länger als ein Jahrhundert war durch diese Leidenschaft der Fortschritt der Wissenschaft auf diesem Gebiete gehemmt. Man begnügte sich einfach damit, das

bei der Doppelbrechung im isländischen Kalkspath auftretende zweite Strahlenbündel als eine Ausnahme von jenem cartesischen Brechungsgesetz anzusehen, welchem doch wenigstens die andre Hälfte des durchgehenden Lichts unverändert treu bleibe. Man meinte also, der Kalkspath gewinne gleichsam als Krystall gewisse besondere Eigenschaften, ohne die zu verlieren, welche er mit allen durchsichtigen Körpern gemein hat.

Die Thatsachen mußten in der That erst verwickelter werden, man mußte sie mit mehr ins Einzelne gehender Aufmerksamkeit prüfen, ehe die einfachen, zu Grunde liegenden Ursachen ans Licht treten konnten. Wenn die einzelnen Gesetze nicht mehr alle beobachteten Thatsachen umfassen, dann erst kann das allgemeine Gesetz, welches die einzelnen als besondere Fälle in sich schließt, gefunden werden. Die einzelnen Gesetze gehen aus Beobachtungen, die allgemeinen aus der erkannten Ursache hervor.

Solch eine alle bisherigen Regeln umstoßende Thatsache war es, auf welche der französische Physiker Fresnel im Anfange dieses Jahrhunderts aufmerksam machte. Er zeigte, daß es Krystalle gibt, bei denen keiner der beiden Strahlen, in welche sich das einfallende Licht spaltet, den Regeln der gewöhnlichen Brechung folgt, beide vielmehr abweichende Brechungen erleiden und Wege einschlagen, die das cartesische Gesetz ihnen nicht anweist. Er zeigte diese Erscheinung, welche auf den ersten Augenblick das ganze stolze Gebäude unsrer Theorie vom Lichte über den Haufen zu stürzen droht, an einer aus gleichen Prismen zusammengesetzten Platte von Topas.

Wer eine Thatsache erklären will, darf nicht bei ihr stehen bleiben. Die bloße Verdoppelung des Lichtstrahls beim Durchgange durch gewisse Krystalle, die bloße Abweichung von dem bekannten Gesetze der Brechung darf uns nicht genügen; wir müssen nachforschen, ob der regelwidrig abgelenkte Lichtstrahl nicht auch andre Veränderungen erlitten hat, wir müssen versuchen, ob wir nicht auch durch künstliche, ganz in die Macht unsrer Beobachtung und Rechnung gegebne Mittel dieselbe Erscheinung hervorzurufen im Stande sind.

Wir kehren zu diesem Zwecke wieder zu der einfachern Erscheinung beim isländischen Doppelspath zurück. Jeder Lichtstrahl, der, an welcher Fläche und in welcher Richtung es auch sei, in diesen Krystall eintritt, wird, wie wir gesehen haben, in zwei Strahlen oder Bündel zerlegt. Den einen Strahl, welcher dem allgemeinen Brechungsgesetz folgt, wollen wir den ordentlichen nennen; den andern, weniger abgelenkten Strahl dagegen, der nicht einmal immer in derselben Ebene mit dem einfallenden Strahle und dem Einfallslothe liegt, und dessen Brechungsverhältniß sich sogar mit der Richtung, in welcher der Lichtstrahl den Krystall durchläuft, ändert, wollen wir als den außerdentlichen bezeichnen. Wir wollen nun die Erscheinung vervielfältigen. Wir bringen in einiger Entfernung einen zweiten Krystall an, von derselben Beschaffenheit, ja in derselben Lage, die entsprechenden Flächen parallel denen des ersten Krystalls. Zwei Strahlen treten aus dem ersten Krystall in Folge der Doppelbrechung hervor. Wir lassen sie in den zwei=

ten Krystall eintreten. Offenbar haben wir nichts andres zu erwarten, als daß jeder dieser Strahlen nun abermals eine Verdoppelung erfahren werde; wir meinen vier gesonderte Strahlen, vier Bilder sehen zu müssen. Unsere Erwartung wird getäuscht. Die zwei Strahlen bleiben zwei; der ordentliche Strahl geht wieder als ordentlicher hervor, und der außerordentliche erleidet wieder seine außerordentliche Brechung. Der Lichtstrahl hat also beim Durchgange durch den ersten Krystall offenbar seine ganze Natur geändert, hat durch die erlittene Spaltung seine, wie wir glaubten, unveräußerliche Eigenschaft verloren, beim Durchgange durch einen isländischen Krystall doppelt gebrochen zu werden.

Beim ersten Blicke auf diese Thatsache drängt sich uns der Gedanke auf, es möchten in jedem natürlichen Lichtstrahl gleichsam zwei verschiedene Arten von Licht vereinigt sein, von denen die eine nur der gewöhnlichen, die andre nur der ungewöhnlichen Brechung fähig sei. Aber wir dürfen auch bei dieser Beobachtung nicht stehen bleiben; eine kleine Aenderung der äußern Umstände kann ihr eine völlig neue Gestalt geben. Wir lassen den zweiten Krystall, ohne daß er seine parallele Stellung gegen den erstern verläßt, langsam um sich selbst drehen. Bald tritt dicht neben dem Bilde jedes der beiden Strahlen ein zweites, anfangs sehr schwaches Bild hervor, das aber immer deutlicher wird, während das andre erbleicht, und endlich dieses vollständig verdrängt. Wunderbar! Nach einer vollendeten Viertelsdrehung des Krystalls um sich selbst sind wieder jene beiden Lichtstrahlen

vorhanden, aber sie haben ihre Naturen vertauscht; der ordentliche Lichtstrahl ist zum außerordentlichen, der außerordentliche zum ordentlichen geworden.

Diese Beobachtung zwingt uns abermals unsre Ansicht zu ändern. Die beiden aus der Spaltung hervorgegangenen Lichtstrahlen sind nicht verschiedener Natur, sie haben beide völlig gleiche Eigenschaften, und jeder zeigt die des andern, sobald er eine Vierteldrehung um sich selbst macht. Wir können uns diese Thatsache nicht anders erklären, als daß ein solcher Lichtstrahl verschiedene Seiten besitzt und, je nachdem er uns die eine oder die andre zuwendet, die Eigenschaft des ordentlichen oder des außerordentlichen Strahles zeigt. Wunderbar freilich! Millionen Lichtstrahlen gehen vielleicht durch ein Nadelöhr, ohne einander zu stören oder zu hemmen, und wir sollten trotz dieser unbegreiflichen Feinheit im Stande sein, ihre Seiten zu betrachten und ihre abweichenden Eigenschaften zu entdecken!

Wie dem auch sei, wir halten uns einstweilen an diesen kühnen Glauben, bis andre Thatsachen ihn etwa zerstören. Wir wollen sogar Namen suchen für diese neu entdeckten Seiten eines Lichtstrahls. Einigermaßen werden wir an Gegensätze erinnert, wie sie die Seiten eines Magnets zeigen, die man Pole nennt. Die Erscheinung ist dort freilich eine wesentlich andere, die ungleichen Pole liegen dort einander gegenüber, während hier die gegenüberliegenden Seiten gleiche, die zwischen ihnen liegenden aber abweichende Eigenschaften zeigen. Auf den Namen kommt es indeß nicht an; wir haben ihn

übrigens nicht erfunden, sondern er stammt in der That aus jener Zeit her, wo man noch an Lichtatome, an Lichtstofftheilchen dachte, die freilich mehr Aehnlichkeit mit Magneten besitzen mochten, als unsere Aetherwellen. Wir bezeichnen also, unbekümmert um die Richtigkeit der Bezeichnung, als polarisirte Strahlen solche, welche, aus der Spaltung des Lichts im Doppelspath hervorgegangen, mit verschiedenen Eigenschaften begabte Seiten zeigen, im Gegensatze zu den Strahlen des natürlichen Lichts, welche ringsum gleiche Eigenschaften besitzen. Wir nennen ferner zwei Lichtstrahlen in derselben Ebene oder rechtwinklich polarisirt, je nachdem sie ihre gleichen Pole nach denselben oder auf einander senkrechten Richtungen kehren. Wir bezeichnen es endlich als eine vollkommene Polarisation, wenn der polarisirte Strahl durch einen zweiten Doppelspath betrachtet nur ein Bild zeigt, als unvollkommene, wenn zwei mehr oder minder gleich deutliche Bilder hervortreten.

So weit waren die Erscheinungen der Polarisation des Lichts schon Newton und Huyghens bekannt; aber über ein Jahrhundert verfloß, ehe Thatsachen entdeckt wurden, welche jenen Erscheinungen eine allgemeinere und umfassendere Bedeutung verliehen.

Um das Wesen einer Naturerscheinung zu ergründen, muß man so viel als möglich alle ihre Seiten kennen, alle Bedingungen erschöpfen, welche sie hervorrufen können. Die doppelte Brechung im Krystall ist aber bei weitem nicht das einzige Mittel, den Lichtstrahl zu pola-

risiren, ihm die Eigenschaft zu nehmen, sich beim Durchgange durch den Doppelspath in zwei Bündel zu spalten.

Als der französische Physiker Malus eines Tages — es war im Jahre 1808 — sich anschickte, die von den Fensterscheiben des seiner Wohnung gegenüberliegenden Luxembourg zurückgeworfenen Sonnenstrahlen mit einem doppeltbrechenden Krystalle zu untersuchen, gewahrte er zu seinem Erstaunen statt der zwei leuchtenden Bilder, die er erwarten mußte, nur eins und zwar je nach der Lage, welche der Krystall vor seinem Auge hatte, entweder das ordentliche oder das außerordentliche Bild. Als er seinen Versuch änderte, als er das Licht einer Kerze unter einem Winkel von 36° auf eine Wasserfläche, unter einem Winkel von 35° auf einen Glasspiegel fallen ließ, ergab die Anwendung des doppeltbrechenden Krystalls dasselbe Resultat. Das zurückgeworfene Licht zeigte sich grade ebenso polarisirt, als ob es aus einem Doppelspath käme.

Malus kehrte nun seine Versuche um; er ließ polarisirte Lichtstrahlen auf spiegelnde Flächen fallen. Zwei Jahrtausende hindurch hatte alle Welt geglaubt, daß Lichtstrahlen, wenn sie auf Körper, selbst von der größten Durchsichtigkeit fallen, wenigstens zu einem Theile zurückgeworfen werden, wie auch der Einfallswinkel und die Stellung der spiegelnden Fläche beschaffen sein mögen. Jetzt zeigte sich, daß für das polarisirte Licht diese Thatsache nicht gilt, daß es für das polarisirte Licht stets eine Lage des Spiegels gibt, in welcher alle Reflexion aufhört, wenn man den Strahlen zugleich einen bestimmten

Einfallswinkel gibt, der von dem Stoffe des Spiegels abhängt. Ein Lichtstrahl, der von einem Spiegel zurückgeworfen wurde, wird von einem zweiten Spiegel nur dann vollkommen gespiegelt, wenn er unter einem bestimmten Winkel, den man aber den Polarisationswinkel nennt, auffällt, und wenn zugleich beide Spiegelungsebenen zusammenfallen. Er wird dagegen gar nicht gespiegelt und verschwindet vollkommen, wenn die zweite Spiegelungsebene senkrecht auf der erstern steht.

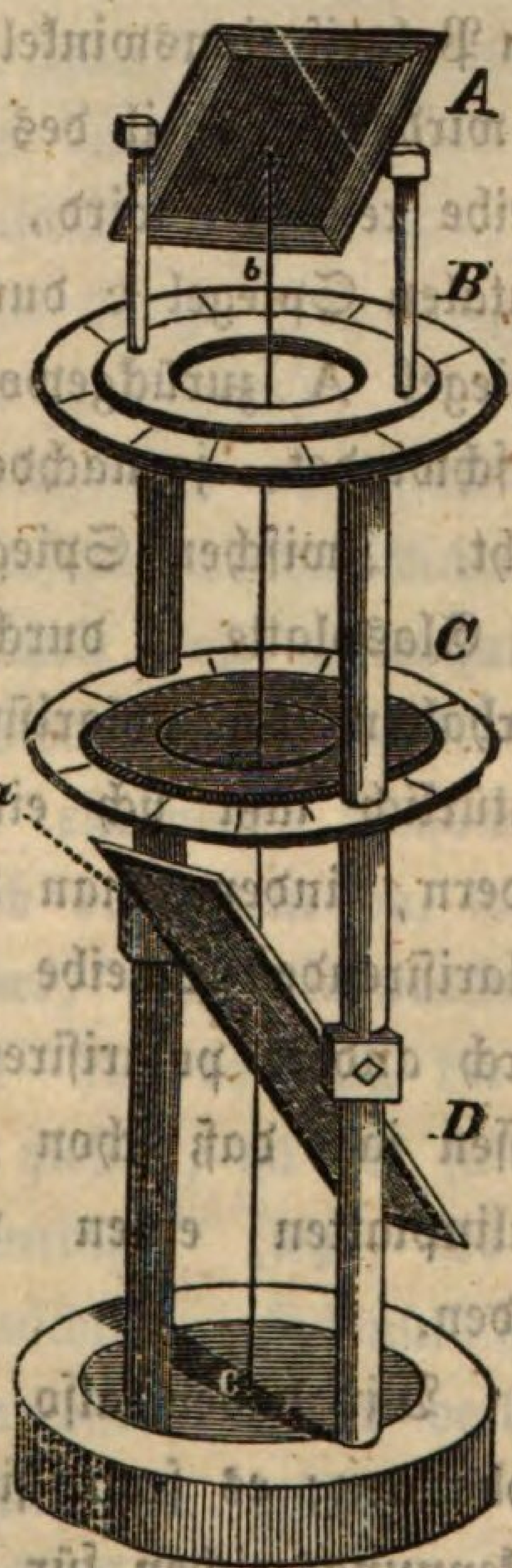
Sicherlich hat der Leser, wenn er sich einmal im Spiegel beschaute, nie daran gedacht, daß es Licht geben könne, welches vom Spiegel nicht zurückgeworfen würde! Gewiß regt nichts die Wißbegier nach dem Wesen dieses seltsamen Lichts mehr an, als diese Thatsache. Ja, könnten wir noch an stoffliche Lichtatome glauben, dann könnten wir uns vielleicht vorstellen, daß diese Atome gleichsam zwei Seiten hätten, eine leuchtende und eine dunkle, die sie nach Umständen uns wechselnd zukehrten! Aber was sollen solche Seiten im Reiche der Wellen! Vielleicht gibt es indeß noch andre Mittel, die Polarisationserscheinungen hervorzurufen, und vielleicht sind diese mehr geeignet, uns der Erklärung näher zu bringen.

Schon anderthalb Jahre nach jener berühmten nächtlichen Entdeckung fand Malus, daß auch das Licht, welches durch eine Glasplatte oder noch besser durch eine Säule von Glasplatten auf dem gewöhnlichen Wege der Brechung gegangen ist, unter gewissen Neigungen deutliche Spuren einer vollständigen Polarisation zeigt, daß

es also durch eine zweite Plattenschicht nur dann hindurch geht, wenn beide Ebenen einander parallel sind, hingegen zurückgeworfen wird, wenn sie senkrecht auf einander gestellt sind. Er erkannte zugleich, daß dieser gebrochene Strahl und der von solchen Plattenschichten zurückgeworfene Strahl in genau entgegengesetztem Sinne, d. h. rechtwinklig aufeinander polarisirt sind, so daß sie sich wie der ordentliche und außerordentliche Strahl bei der Doppelbrechung verhalten.

Aber auch die bloße Lichtverschluckung in farbigen durchsichtigen Körpern vermag Polarisationserscheinungen hervorzurufen. Das beweist uns der Turmalin. Er gehört zu jener Klasse krystallisirter Mineralien, welche die Eigenschaft der Doppelbrechung besitzen. Schneidet man aus einem Turmalin eine dünne Platte, deren Oberfläche der Hauptaxe des Krystalls parallel ist, so zerspaltet sie, wie der isländische Doppelspath, jeden auf sie fallenden Lichtstrahl in einen ordentlichen und außerordentlichen. Ist aber die Turmalinplatte dunkel gefärbt und zugleich dick genug, so läßt sie nur den außerordentlichen Strahl hindurchgehen, während sie den ordentlichen vollkommen verschluckt. Legt man zwei solche Turmalinplatten übereinander, so daß ihre Axen parallel sind, so lassen sie das einfallende natürliche Licht ebenso gut durch, wie eine Platte, die so dick ist wie beide zusammen. Dreht man aber die eine Platte in ihrer Ebene herum, ohne die Lage der andern zu ändern, so wird das durchgelassene Licht immer schwächer und schwächer, bis es endlich ganz verschwindet, wenn die Axen beider Platten

einen rechten Winkel mit einander bilden. Betrachten wir also durch eine Turmalinplatte irgend ein Licht, so wird jede Veränderung in der Helligkeit, die beim Drehen der Platte eintritt, uns sofort von der Anwesenheit polarisirten Lichts überzeugen. Eine solche Erscheinung tritt ein, wenn wir die Turmalinplatte gegen den heitern Himmel richten. Auch das Licht des Himmelsgewölbes wird also offenbar nur durch die unregelmäßige Reflexion, die es wie jede hellerleuchtete Fläche nach allen Seiten erleidet, polarisirt.



Wir sehen, von welcher Bedeutung jedes neue Mittel, Polarisationserscheinungen hervorzurufen, für die Erweiterung unsrer Kenntniß von den Ursachen der Polarisation überhaupt ist. Wir sehen, welch eine weite Ausdehnung dies so lange unbekannte Gebiet mit jedem Schritte der Forschung gewinnt. Aber noch bedürfen unsre Mittel, diese Erscheinungen zu erkennen, einer Verfeinerung, welche uns in den Stand setzt, auch die kleinsten Spuren derselben nachzuweisen. Doppelspath, Spiegel, Plattenschichten, Turmalinplatten, das waren bisher die Mittel,

welche uns zur Beobachtung der Polarisation zu Gebote standen. Paarweis verbunden ließen sich aus ihnen Apparate herstellen, durch welche man Lichtstrahlen nicht bloß polarisiren, sondern auch auf ihre Polarisation hin prüfen oder, wie die Wissenschaft sagt, analysiren konnte. Eine um eine horizontale Axe drehbare durchsichtige Glasscheibe (D) und ein sowohl horizontal als vertical drehbarer schwarzer Glasspiegel (A) bilden einen solchen Apparat, dem Physiker unter dem Namen des Nörremberg'schen bekannt. Sind Glasscheibe und Spiegel unter dem Polarisationswinkel des Glases, 35° 25', eingestellt, so wird der Theil des Lichtstrahls a, der von der Glasscheibe reflectirt wird, polarisirt, von einem untern horizontalen Spiegel c durch die Glasscheibe nach dem obern Spiegel A zurückgeworfen und wird dort sichtbar oder verschwindet, je nachdem man den Spiegel um sich selbst dreht. Zwischen Spiegel und Glasscheibe lassen sich auf die Glasplatte C durchsichtige Gegenstände legen, deren Verhalten im polarisirten Lichte man beobachten will. Natürlich läßt sich ein solcher Apparat mannigfach abändern, indem man den einen oder andern Theil, die polarisirende Scheibe oder den analysirenden Spiegel durch andere polarisirende Vorrichtungen ersetzt; und wir wissen ja, daß schon zwei hintereinander gehaltene Turmalinplatten einen vollkommenen Polarisationsapparat bilden.

Wir haben also ganz vortreffliche Apparate, um zu beobachten; es fragt sich nur, ob wir auch ebenso sichere Erkennungszeichen für die Erscheinungen der Polarisation

haben. Aus dem Bisherigen scheint dies keineswegs hervorzugehen. Denken wir nur an die doppelte Brechung. Der isländische Doppelspath von solcher Größe, solcher Durchsichtigkeit mußte erst nach Europa gebracht werden, ehe man diese Erscheinung entdecken konnte. Wollen wir jetzt von einem Krystall erfahren, ob er die Eigenschaft der Doppelbrechung besitze, so müssen wir erst ein Prisma daraus schneiden, und dies muß Größe und Durchsichtigkeit genug besitzen, daß wir durch seine künstlichen Begrenzungsflächen hindurch das doppelte Bild eines sehr dünnen Körpers, z. B. einer Nadelspitze, wahrzunehmen vermögen. Wie viele Körper kann es also noch geben, welche dieselbe Eigenschaft besitzen, ohne daß wir im Stande sind, mit unsern Augen die doppelten Bilder ihrer polarisirten Strahlen zu trennen!

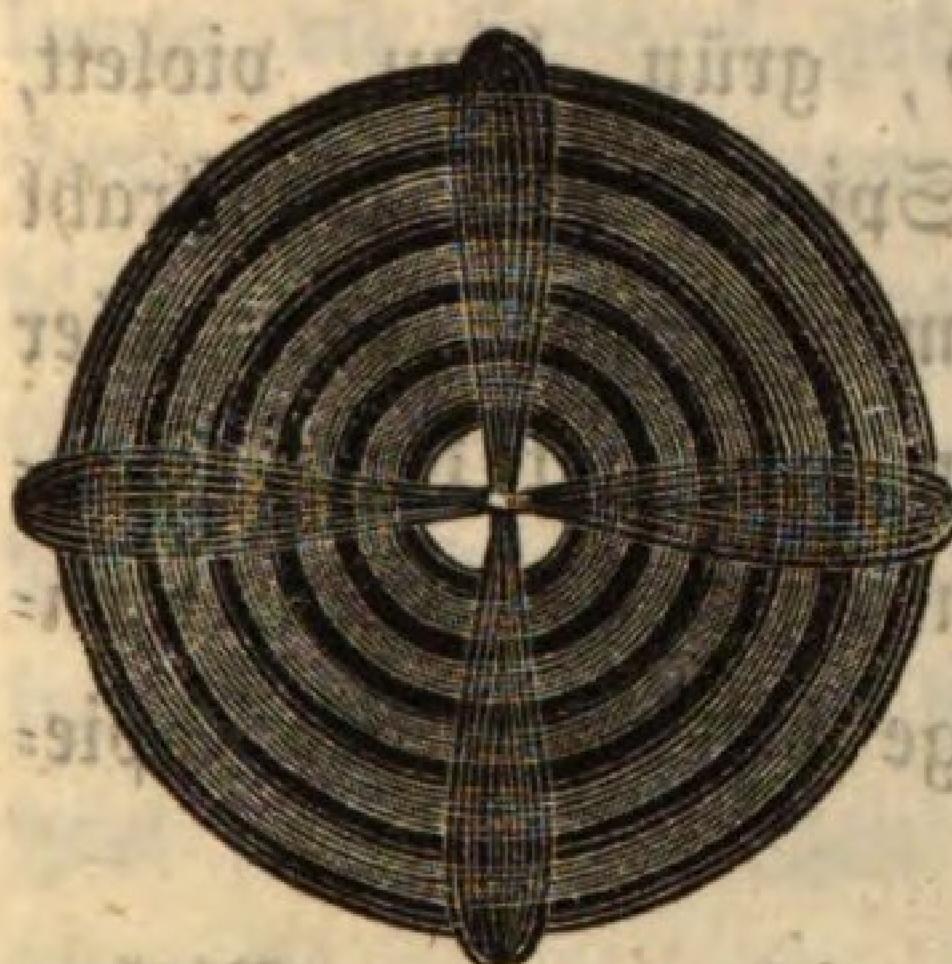
Bisher war es nur der Gegensatz von Hell und Dunkel, von erscheinenden und verschwindenden Lichtstrahlen, welcher über die Anwesenheit von Polarisatonserscheinungen entschied. Der Scharfsinn Arago's schuf auf diesem Gebiete im J. 1811 ein neues Hülfsmittel. Wunderbar! Ist es doch, als ob die Natur da, wo sie ihre tiefsten Geheimnisse entschleiert, auch die prachtvollsten Festgewänder anlegen müßte! Als es galt, die zarten Lichtwellen zu zählen und zu messen, da bot sie uns die herrlichen Newton'schen Farbenringe. Jetzt, wo wir wieder einmal die Grenzen menschlicher Erkenntniß zu überschreiten schienen, wo wir vermessen darnach verlangten, die Gestalt dieser Lichtwellen zu zeichnen, dem Pendelschlag der schwingenden Aethertheilchen zu lauschen,

tritt uns abermals eine reiche entzückende Farbenpracht entgegen, nicht von täuschendem Scheine, sondern in der Tiefe der Stoffe selbst geboren, uns ihr Innerstes, ich möchte sagen, ihre gestaltende Seele enthüllend.

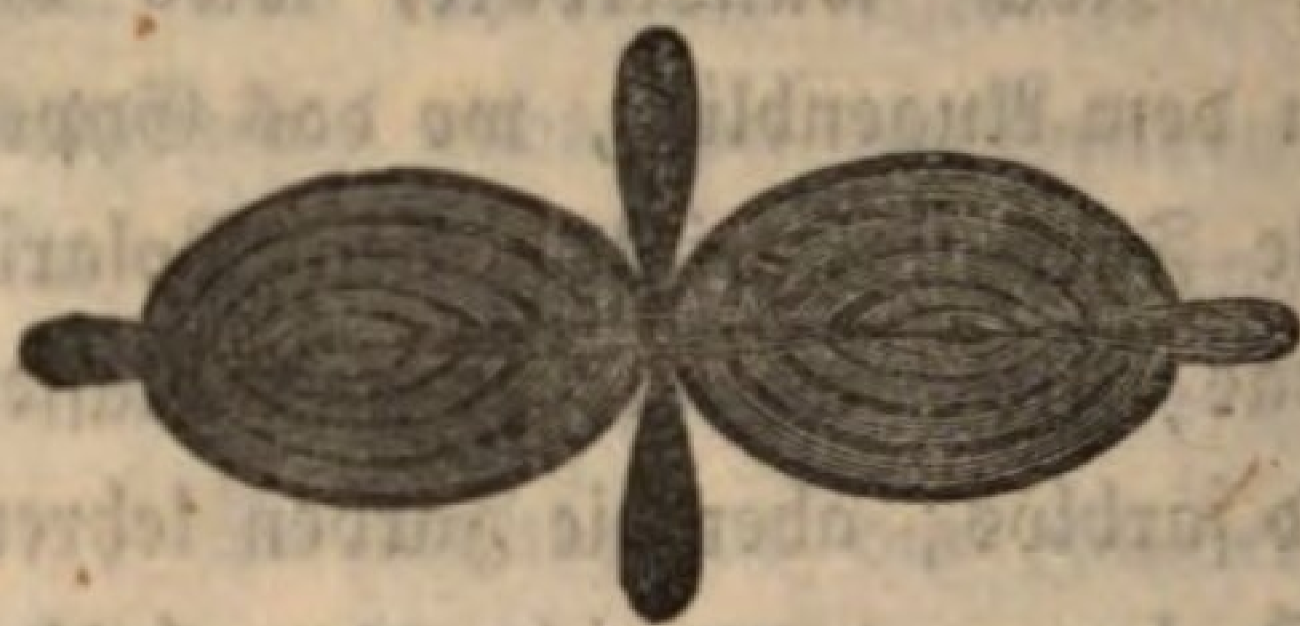
So wunderbar der Zauber der Erscheinung, so unscheinbar ist das Mittel, das sie hervorruft. Wir haben nichts weiter zu thun, als dünne Scheibchen nach gewissen Richtungen aus Krystallen zu schneiden und sie mit Hülfe unserer Polarisationsapparate im polarisirten Lichte zu betrachten. Ja, die Natur selbst ist uns bereits häufig zuvorgekommen und hat den mühsamen Schnitt statt unsrer ausgeführt.

Der Gyps kommt in der Natur in großen, durchsichtigen Krystallen vor, die eine außerordentliche Spaltbarkeit besitzen, so daß wir mit Leichtigkeit dünne Blättchen davon ablösen können. Ein solches Gypsblättchen wollen wir nun im polarisirten Lichte betrachten. Wir legen es auf die Glasscheibe zwischen die Spiegel unseres Polarisationsapparats oder betrachten es zwischen zwei Turmalinplatten. Wenn wir den Spiegeln oder Turmalinplatten eine gekreuzte Stellung geben, so erscheint, wie wir gesehen haben, ohne Dazwischenkunft des Gypsblättchens das Gesichtsfeld völlig dunkel. Sobald das Gypsblättchen aber eingeschoben wird, erblicken wir ein helles, farbiges Bild auf dunkelm Grunde, das seine Helligkeit und Färbung wechselt, sobald wir das Blättchen in seiner Ebene drehen, und endlich nach einer größern Drehung sich vollkommen verdunkelt, als ob das Gypsblättchen gar keine Wirkung auf die durchgehenden

Strahlen ausgeübt hätte. Noch wunderbarer wird die Erscheinung, wenn wir in dem Augenblicke, wo das Gypsblättchen seine prachtvollste Färbung zeigte, den Polarisationsspiegel drehen. Das Bild wird blasser und blasser und endlich ganz weiß und farblos; aber die Farben kehren wieder bei fortgesetztem Drehen und erreichen den früheren Glanz vollkommen wieder, wenn die Spiegel des Apparats in die parallele Stellung gekommen sind. Nur sind es nicht mehr dieselben Farben, die sich zeigen, sie sind in ihre complementären umgewandelt, das Roth in Grün, das Gelb in Blau ꝛc. übergegangen.



Legen wir statt des Gypsblättchens ein dünnes Kalkspathblättchen ein, das wir aus dem Krystall rechtwinklig auf seine Axe geschnitten haben, so erscheint zwischen gekreuzten Spiegeln ein von einem schwarzen Kreuze durchzogener prachtvoller Farbenring, der bei paralleler Stellung der Spiegel in die complementäre Färbung übergeht und in der Mitte ein weißes Kreuz zeigt. Es ist dieselbe Farbenfolge und derselbe Farbenglanz wie bei den Newton'schen Farbenringen. Eine Eisplatte von 1 Zoll Dicke würde uns eine ganz ähnliche Erscheinung dargeboten haben. Nehmen wir aber ein Glimmerblättchen oder ein Scheibchen, das wir uns aus einem Zuckerkrystall abgespaltet haben, oder eine Platte, die wir uns durch Querschnitte aus einem säulenförmigen Salpeterkrystall geschaffen haben, und legen eine derselben in



den Polarisationsapparat, so erblicken wir zwar gleichfalls Farbenringe, aber nicht mehr in Gestalt concentrischer Kreise, sondern zwei getrennte, von einem je nach der Stellung der Spiegel dunklen oder hellen Kreuz durchschnitten.

Was sollen wir von solchen polarisirten Strahlen denken? Ein farbloser, weißer Lichtstrahl ist es, der auf den Spiegel fällt; aber sein Spiegelbild ist nicht weiß, sondern roth, orange, gelb, grün, blau, violett, je nach der Stellung, welche der Spiegel zum Lichtstrahl einnimmt. Hier genügt es nicht mehr, zwei oder vier Pole in dem Lichtstrahl anzunehmen, er hat deren Tausende; denn jeder Punkt seines Umkreises hat einen eigenthümlichen Charakter, in jeder Lage beleuchtet der Spiegel eine andere Farbe.

Aber auch damit ist es noch nicht genug. Bisher hielten wir es für einen sichern Beweis, daß wir es mit natürlichen Lichtern zu thun hätten, wenn ein Lichtstrahl beim Durchgange durch einen isländischen Krystall stets zwei weiße Bilder von gleicher Lichtstärke erzeugt, und wenn er von einem Spiegel in allen Lagen gleich gut reflectirt wird. Aber auch diese Sicherheit wird uns durch ein keines Glimmerblättchen geraubt. Legen wir nämlich ein Glimmerblättchen so zwischen die gekreuzten Spiegel unseres Apparats, daß es so hell als möglich erscheint, so können wir den obern Spiegel drehen, wie wir wollen, ohne daß sich

die Helligkeit des Blättchens merklich ändert oder eine Färbung eintritt. Der Strahl, welcher von dem Glimmerblättchen kommt, wird von dem Spiegel so gut und so gleichmäßig reflectirt, wie ein natürlicher Strahl. Betrachten wir ihn statt in jenem Spiegel durch einen doppeltbrechenden Krystall, so zeigt er auch zwei weiße Bilder von gleicher Helligkeit wie der natürliche Lichtrahl. Nach allen Seiten also zeigt er die gleichen Eigenschaften, und dennoch enthält er kein natürliches Licht. Davon werden wir auf das Ueberraschendste überzeugt werden. Wir legen ein Gypsblättchen auf das Glimmerblättchen. So lange die Spiegel gekreuzt sind, zeigt auch dies keine Färbung. Jetzt legen wir aber ein zweites Glimmerblättchen auf das Gypsblättchen; und sofort erscheint das Gypsblättchen in der prachtvollsten Färbung, die beim Drehen des obern Spiegels nicht schwindet, nicht erblaßt, sondern nur in ein herrliches ewig wechselndes Farbenspiel aus dem Rothen in's Gelbe, in's Grüne, Blaue &c übergeht.

Ganz dieselbe Erscheinung, wie diese Verbindung von Gyps- und Glimmerblättchen, zeigt uns auch ein einfaches Quarzscheibchen, senkrecht auf die Hauptaxe des Krystalls geschnitten, wenn wir es dem polarisirten Lichte aussetzen. Es zeigt im Doppelspath zwei complementär gefärbte Bilder, im Spiegel prachtvolle Farbenringe, die bei der Drehung nur die Farben wechseln, nicht verlieren. Eine neue Sonderbarkeit tritt ein, wenn wir auf die Reihenfolge in diesem Farbenwechsel achten. Am leichtesten wird dies geschehen, wenn wir die beiden far-

bigen Bilder betrachten, welche ein Doppelspath hervorruft. Um dabei unsere Aufmerksamkeit nur auf eine einzige Farbe richten zu müssen, benutzen wir natürlich ein einfarbiges Glas, z. B. ein rothes, durch das alle andern Farben verdunkelt werden. Wenn füher das rothe Bild durch eine gewisse Drehung des Doppelspaths in seiner Complementärfarbe in Grün verwandelt wurde, so wird es hier natürlich verschwinden. Ersetzen wir nun in dem Augenblicke dieses Verschwindens das Quarzplättchen durch ein anderes, aus demselben Krystall geschnittenes, aber doppelt so dickes Quarzplättchen, so erscheint das rothe Bild wieder, und wir müssen den Doppelspath erst wieder um einen gleich großen Bogen wie vorher drehen, um das Bild verschwinden zu machen. Schneiden wir nun gar ein Quarzplättchen aus einem andern Krystall und legen es in unsern Apparat ein, so müssen wir jetzt vielleicht links drehen, während wir vorher rechts drehten, um das Bild zum Verschwinden zu bringen. Wir können nicht den ganzen Reichthum dieser wunderbaren Erscheinungen erschöpfen, die man, weil sie auf Strahlen deuten, an denen sich nicht mehr wie sonst einzelne Seiten oder Pole unterscheiden lassen, die vielmehr jeden Punkt ringsum zum Pol werden lassen, mit dem Namen Cirkularpolarisation bezeichnet hat. Nur das dürfen wir nicht vergessen, daß selbst Flüssigkeiten und Dämpfe diese Erscheinung zeigen, namentlich Zucker- oder Gummilösungen, Terpentinöl und Terpentindampf. Auch hier giebt es rechts oder links drehende Flüssigkeiten, d. h. solche, welche zum Verschwinden des außergewöhnlichen

Strahls im Doppelspath eine Drehung nach rechts oder nach links verlangen. Zu den rechtsdrehenden gehören Zucker, Dextrin und Citronenöl, zu den linksdrehenden arabischer Gummi und Terpentin. Die Größe dieser Drehung ist, wie dort von der Dicke der durchsichtigen Platte, so hier natürlich von der Concentration der Lösung abhängig. Die räthselhafte Erscheinung ist damit in das praktische Leben übergeführt; sie ist in der Hand des Geschäftsmannes zu einem Mittel geworden, den Zuckergehalt einer Flüssigkeit zu bestimmen.

Auch wir haben nun unsre Anwendung von all diesen bunten Erscheinungen zu machen. Für uns sind sie Mittel von außerordentlicher Feinheit, die Eigenschaft der Polarisation oder der doppelten Brechung in Stoffen zu entdecken, die wir nur in dünnen Splittern den Einwirkungen des Lichts zugänglich machen konnten. Zarte Glimmerblättchen zeigten uns die Farbenerscheinung doppelt brechender Krystalle, und obgleich wir nie die doppelten Bilder selbst sehen konnten, müssen wir doch ihnen diese Eigenschaft zuschreiben. Können wir also einem Körper künstlich die Eigenschaft verleihen, Farbenerscheinungen zu erzeugen, die etwa auf eine doppelte Brechung schließen lassen, so wird es uns vielleicht auch gelingen, rückwärts aus den angewandten Mitteln die Ursachen zu erschließen, welche dieser und jeder doppelten Brechung zu Grunde liegen.

Eine Glasplatte zeigt im gewöhnlichen Zustande keine Spur einer farbigen Polarisation. Wenn wir aber eine Glasplatte glühen und schnell abkühlen, wenn wir

sie in eine Presse bringen oder stark zusammenpressen, treten im polarisirten Lichte sofort Farbenerscheinungen ein, die völlig jenen doppeltbrechenden Krystallen gleichen. Nun könnte es freilich nicht ganz unbestreitbar scheinen, daß solche Phänomene immer von einer wirklichen Doppelbrechung begleitet sein müssen. Es wären also der Sicherheit wegen auch in solchen gepreßten Gläsern die doppelten Lichtbündel noch nachzuweisen. Auch dieser Nachweis ist geglückt. Wenn wir in eine Stahlkapsel einige Glasprismen neben einander legen und sie dann vermittelst kräftiger Schrauben zusammenpressen, so zeigt sich eine deutliche Doppelbrechung.

Versuchen wir nun unsere Schlußfolgerungen zu ziehen. Das Glas ist zu einem wirklichen isländischen Krystall geworden; aber die Trennung der Bilder, das Farbenspiel, alles erfolgte hier einzig und allein durch die Wirkung der Druckschrauben. Die Wirkung, welche dieser Druck erzeugt, kann gar keine andre sein, als daß die kleinsten Theilchen des Glases in der Richtung, in welcher auf sie gewirkt wurde, einander sich näherten, während sie in der darauf senkrechten Richtung ihren Abstand behielten. Liegt es nun nicht außerordentlich nahe, anzunehmen, daß eine ähnliche, von der Natur im Krystallisationsproceß bewirkte Lagerung der Theilchen ganz allgemein die Ursache der Doppelbrechung und damit auch der verschiedenen Polarisationserscheinungen der Mineralien sei? Es wird eine solche Annahme um so wahrscheinlicher, als unter der Menge von nicht krystallisirten Stoffen gerade diejenigen solche Polarisations-

erscheinungen zeigen, von welchen eine ähnliche Theilchenlagerung, eine von außen nach innen regelmäßig zu- oder abnehmende Dichtigkeit bekannt ist, z. B. die Linse des Auges und die Stärkekügelchen.

Daß solche Dichtigkeitsunterschiede in der That bei den Krystallen stattfinden, dafür spricht die verschiedene Spaltbarkeit, welche sie nach verschiedenen, von den Axen abhängigen Richtungen zeigen. Dem Mineralogen ist es dadurch möglich geworden, selbst bei Mineralien, die sich ihm nie in Krystallform darbieten, eine sogenannte innere Kerngestalt aufzufinden. Daß diese verschiedene Dichtigkeit, daß die Axenrichtung der Krystalle aber auch mit unsern Polarisationserscheinungen im Zusammenhange steht, können wir daraus ersehen, daß wir die Plättchen zu unsern Untersuchungen stets nach gewissen Richtungen, senkrecht oder parallel gegen die Krystallaxen schneiden mußten. Wir können also wohl auch annehmen, daß auch die Dichtigkeit oder Elasticität des Aethers, jenes unbekannten Trägers der Lichtwellen, bei diesen Dichtigkeitsunterschieden betheiligt ist. In ihr volles Recht wird diese Annahme aber erst treten, wenn es uns gelingt, durch sie die wunderbaren Erscheinungen, die wir beobachteten, wirklich zu erklären.

Eine wellenförmige, schwingende Bewegung war es, als welche wir schon früher, durch die Macht der Erscheinungen gezwungen, uns die Bewegung des Lichts vorstellten. Was soll nun geschehen, wenn eine solche Lichtwelle in einen Doppelspathkrystall eintritt? Der Lichtstrahl wird gebrochen, d. h. nach unserer frühern Er-

klärung, die Lichtwelle erleidet eine Veränderung ihrer Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Aber was bedeutet diese doppelte Brechung, also diese doppelte Veränderung der Geschwindigkeit? Gäbe es keine andre Bewegung in dem Lichtstrahl als in der Richtung seiner Fortpflanzung, so würde jede Erklärung einer solchen Verdopplung eine Unmöglichkeit sein, und es wäre vergeblich, daß wir uns um den Nachweis einer verschiedenen Dichtigkeit und Elasticität des Aethers nach den verschiedenen Richtungen des Krystalls bemüht hätten. Eine Spaltung des Lichtstrahls würde dann etwas gerade so Undenkbares, als wenn man verlangen wollte, daß ein einfacher gerader Stoß zwei Kugeln nach verschiedenen Richtungen treiben sollte. Wir dürfen also nicht länger bei der Lichtwelle an Schwingungen denken, welche in der Richtung ihrer Fortpflanzung geschehen, also nicht an Längsschwingungen, wie es die Schwingungen des Schalles waren, sondern wir müssen uns die Schwingungen jetzt vielmehr als Querschwingungen vorstellen, als solche, die in einer senkrechten Ebene gegen die Richtung der Fortpflanzung geschehen, ähnlich also etwa wie in einer schwingenden Säule. Wir müssen für den natürlichen Lichtstrahl sogar annehmen, daß solche Querschwingungen stets gleichzeitig nach allen Richtungen vorhanden sind.

Betrachten wir einmal in dieser neuen Anschauung den Weg des Lichtstrahls durch eine Kalkspathplatte, deren Flächen wir senkrecht auf die Hauptaxe geschnitten haben. In den Querschwingungen des Lichtstrahls haben wir jetzt eine Menge von Bewegungen, deren Fortpflanzungsgeschwin-

digkeit natürlich von der Elasticität des Aethers abhängt, den sie vorfinden. Ist die Elasticität des Aethers nach verschiedenen Richtungen des Krystalls wirklich eine verschiedene, so werden sich auch die Querschwingungen des Lichtstrahls mit ebenso verschiedenen Geschwindigkeiten nach diesen Richtungen verbreiten und — verschieden gebrochen werden. Die Dichtigkeit des Aethers ist nun, wie der Zusammenhang der Stofftheilchen, gleichmäßig in der Richtung der Hauptaxe, aber eine wesentlich verschiedene, wenn auch wiederum gleichmäßige für alle auf diese Axe senkrechten Richtungen. Lassen wir nun zunächst die Lichtwelle in der Richtung der Axe eintreten. Alle ihre Schwingungen geschehen jetzt senkrecht zur Axe, verbreiten sich darum gleichmäßig, und der Strahl tritt ungespalten hervor. Nun aber trete der Strahl schief gegen die Fläche der Kalkspathplatte ein. Der eine Theil der Schwingungen hat auch jetzt noch eine senkrechte Richtung gegen die Hauptaxe und pflanzt sich darum mit unveränderter Geschwindigkeit fort. Ein anderer Theil der Schwingungen aber nimmt jetzt eine schiefe Richtung gegen die Axe und trifft darum auf einen Aether, der eine geringere Dichtigkeit, eine größere Elasticität besitzt, pflanzt sich also mit einer größern Geschwindigkeit durch den Krystall fort. Verschiedene Geschwindigkeit aber entspricht verschiedener Brechung. Die Folge ist also eine Theilung des Lichtstrahls, eine doppelte Brechung.

Betrachten wir jetzt die beiden austretenden Strahlen. Die Schwingungen, die wir in dem natürlicheu Lichtstrahl noch als allseitige annehmen mußten, sind in

ihnen einseitige geworden. Der eine, gewöhnlich gebrochene Strahl besitzt nur noch Schwingungen, senkrecht auf die Axe des Krystalls, der andre nur noch Schwingungen parallel dieser Axe. Beide sind rechtwinklig gegen einander polarisirt, d. h. die Schwingungsrichtungen ihrer Aethertheilchen sind rechtwinklige gegen einander. Das also war es, was wir unter den Seiten oder Polen eines Lichtstrahls zu verstehen hatten, als wir den Namen der Polarisation wählten.

Unsre Erklärung der verschiedenen Polarisationserscheinungen wird jetzt einfach eine Uebersetzung derselben in diese neue Sprache, die Sprache der Schwingungen, sein. Wir begreifen jetzt, daß Reflexion und Brechung Polarisation bewirken konnten. Es ist ja so selbstverständlich, daß so verschiedene Schwingungen des Lichts nicht gleichmäßig zurückgeworfen werden können, daß eine vollkommene Zurückwerfung sogar nur für diejenigen Schwingungen möglich ist, die parallel mit der Spiegel fläche geschehen, während alle andern, mehr oder minder schief gegen die Spiegelfläche gerichteten wenigstens zum Theil in dieser Schwingungen erzeugen, und da keine Wirkung in der Natur ohne Verlust an Kraft, selbst vernichtet werden müssen. Eine vollkommene Polarisation tritt darum nur ein, wenn diese in der Spiegelsubstanz erzeugte Schwingungswelle d. h. also der gebrochene Strahl genau einen rechten Winkel mit dem zurückgeworfenen Strahl macht. So erklärt sich uns auch der Polarisationswinkel und seine Abhängigkeit von der polarisirenden Substanz. So erklärt sich uns aber auch, daß reflectirte und gebrochene Strahlen stets senkrecht auf ein=

ander polarisirt sind, da sie gleichsam beide die aufeinander senkrechten Schwingungen unter sich getheilt haben. So erklärt sich uns aber auch ferner, warum ein polarisirter Strahl immer nur in einer gewissen Stellung von einem Spiegel zurückgeworfen wird, weil er ja nur einseitige Schwingungen enthält.

Es ist freilich nur eine Annahme, worauf alle diese Erklärungen beruhen, wenn es auch gewichtige Gründe waren, welche uns zu dieser Annahme drängten. Aber diese Annahme wird zu einer unumstößlichen Gewißheit erhoben, wenn wir einen Blick auf die Farbenerscheinungen des polarisirten Lichts werfen. Diese Farbenerscheinungen sind offenbar, wie jene so überaus ähnlichen Newton'schen Farbenringe dünner Platten, Erzeugnisse von Interferenzen. Das Wesen der Interferenz erkannten wir bei dem natürlichen Lichte darin, daß Lichtwellen in verschiedenen Phasen ihrer Bewegung auf einander treffen und, indem sie einander hemmen oder unterstützen, sich zu einer gemeinsamen Bewegung vereinigen. Bildlich ausgedrückt war es ein Zusammentreffen von Wellenberg mit Wellenberg oder mit Wellenthal; wissenschaftlich konnte nur von einem Zusammentreffen entgegengesetzt oder gleich gerichteter Schwingungen die Rede sein. Bei den Newton'schen Ringen war es endlich das Zusammenwirken von Strahlen, die von der obern und untern Fläche einer dünnen Schicht zurückgeworfen wurden, welches die Begegnung der Strahlen herbeiführte, und die Dicke der Schicht, welche über die Art der Strahlen entschied, welche einander vernichten oder verstärken sollten.

Wenden wir uns jetzt zu den Farbenerscheinungen der Krystalle im polarisirten Licht. Der Verdopplung der Strahlen durch Reflexion, wie sie bei den dünnen Schichten auftrat, entspricht hier die Verdoppelung durch doppelte Brechung. Jeder Lichtstrahl, der eine Krystallplatte in einer andern als der Richtung der Axe durchläuft, in zwei gespalten wird, und diese beiden polarisirten Strahlen befinden sich, wie dort, wegen der verschiedenen Elasticität des durchlaufenen Aethers in verschiedenen Schwingungsphasen. Endlich können Phasenunterschiede zwischen allen den Millionen durch die polarisirende Platte gegangenen Strahlen eintreten, die wiederum abhängig sind von der Dicke der Krystallplatte.

Können denn aber polarisirte Strahlen überhaupt interferiren? Unter allen Umständen gewiß nicht, und darauf beruht ja eben jener Unterschied des polarisirten Lichts von dem natürlichen, der uns zu einem so vortrefflichen Prüfungsmittel wurde. Bewegungen können nur dann eine Einwirkung auf einander ausüben, wenn sie irgend eine Gemeinsamkeit der Richtungen besitzen. In gleichem Sinne polarisirte Lichtstrahlen, d. h. solche, in denen die Aethertheilchen parallel schwingen, müssen daher mit einander ebenso interferiren, wie natürliche Strahlen, also eben solche Farbenerscheinungen liefern z. B. bei der Beugung an schmalen Körpern. Zwei senkrecht auf einander polarisirte Strahlen dagegen können niemals Interferenzerscheinungen zeigen, weil ihre Schwingungen einander weder hemmen noch verstärken können. Die prachtvollen Farbenspectra, die sich aus der Interferenz der durch zwei schmale Oeffnungen ge-

beugten Lichtstrahlen erzeugen, werden in der That augenblicklich vernichtet, wenn man 2 Turmalinplatten vor diese Oeffnungen hält, deren Polarisationsebenen einander kreuzen. Gewiß war es geeignet unser Staunen zu erregen, als wir sahen, wie zwei Lichtstrahlen durch ihre Vereinigung Dunkel erzeugten; aber nachdem wir die Nothwendigkeit dieses Wunders erkannt hatten, muß es doppelt staunenswerth scheinen, daß diese Eigenschaft den Lichtstrahlen auch wieder entzogen werden kann. Die Annahme von Querschwingungen im Lichtstrahl ist das einzige denkbare Mittel, diese Erscheinung zu erklären. Aus ihnen erklärt sich das Verschwinden der Farbenbilder und das Erscheinen complementär gefärbter beim Drehen der Polarisationsspiegel. Aus ihnen erklären und berechnen sich die schönen Ringe polarisirten Lichts in Krystallen. Solche Farbenringe zeigten sich im analysirenden Spiegel des Polarisationsapparates, wenn ein polarisirter Strahl zuvor eine doppelt brechende Krystallplatte durchlaufen hatte. Zwei rechtwinklig polarisirte Strahlen traten aus dem Krystall hervor; jeder derselben wurde im Spiegel aufs Neue zerlegt in einen parallel und einen senkrecht zur Spiegelungsebene schwingenden Strahl; jeder dieser zerlegten Strahlen findet also in der Zerlegung des andern einen Strahl, dessen Schwingungen den seinigen parallel sind, mit dem er also interferiren kann. Beide interferirende Strahlen gingen endlich aus Strahlen hervor, die beim Durchgange durch den Krystall in verschiedenen Richtungen auf verschiedene Elasticität des Aethers gestoßen und dadurch in verschiedene Schwingungsphasen eingetreten waren. Die Dicke der Platte

bestimmt natürlich diese Phasenunterschiede und entscheidet damit über die Farben, welche hervortreten müssen, da diejenigen Farben verschwinden müssen, deren Phasen um eine ungerade Anzahl von halben Wellenbreiten verschieden sind.

Dieser einfache Satz, daß nur parallel, niemals senkrecht polarisirte Lichtstrahlen mit einander interferiren können, muß als der Schlußstein unsrer heutigen Wellentheorie des Lichts gelten, um so mehr, als er sich in neuester Zeit auch auf dem verwandten Gebiete der Wärmewellen in überraschender Weise bestätigt hat. Er liefert den Schlüssel zu all jenen zauberhaften Farbenerscheinungen, zu deren Erklärung man bereits unter dem Einfluß einer übermächtigen Phantasie manchen wissenschaftlichen Roman aufgebaut hatte. Er liefert auch den Schlüssel zu jener merkwürdigen Erscheinung, welche das polarisirte Licht in einer Quarzplatte darbot, jener Erscheinung eines Lichtstrahls, der, in allen Eigenschaften dem natürlichen gleich, wie dieser unter allen Umständen reflectirt und gebrochen wurde, aber stets farbig und im wechselnden Farbenspiel. Wir gelangen durch diese bunte Erscheinung in überraschender Weise zu der Ueberzeugung, daß die allgemeinen Gesetze der Bewegung bis auf den letzten Paragraphen auch auf dem Gebiete des Lichts ihre Geltung behaupten.

Zwei rechtwinklig polarisirte Strahlen interferiren nicht, sagten wir. Aber eine Einwirkung können sie dennoch auf einander in gewissen Fällen ausüben. Diese Einwirkung tritt ein, wenn die Aethertheilchen in beiden Strahlen gleichzeitig die Ruhelage passiren. Die Aether-

theilchen schlagen dann beim Zusammentreffen entweder eine mittlere Richtung ein, ähnlich wie beim Stoße die Lehre vom Kräfteparallelogramm ergab, oder sie erhalten eine drehende Bewegung, verfolgen eine Kreisbahn in einer senkrecht auf beiden Strahlen stehenden Ebene, jenachdem die Unterschiede ihrer Schwingungen im Zusammentreffen halbe oder Viertelwellen betrugen. Auf der letzteren Wirkung beruhte aber die Cirkularpolarisation, deren Richtung nach rechts oder links wieder davon abhängig ist, ob der Wegunterschied $^1/_4$ oder $^3/_4$ Wellen beträgt. Zwei solche entgegengesetzt nach rechts und links in Kreisen schwingende Strahlen waren es, welche im Bergkrystall durch ihre Interferenzen jene wunderbare Farbenpracht zauberten.

Wir können nicht tiefer in dieses Gebiet der Interferenzen eindringen, auf dem zuletzt doch der rechnenden Zahl die letzte Entscheidung verbleibt. Der Zweck unsrer Betrachtung war auch weniger die Erklärung dieser bunten Erscheinungen, als der Nachweis der Wellenform des Lichts. Diesen letzten Zweck haben wir erreicht. Das Meer der Licht= und Wärmewellen liegt jetzt so ausgebreitet vor uns, wie beim Eingange unsrer Betrachtungen die wogende Wasserfläche. Es ist nicht mehr die Ahnung unbestimmter Bewegungen, es ist die bewußte Anschauung von Formen, die uns daraus entgegen weht. Wir sehen Wellen, die der schwingenden Saite gleichen, und wieder schraubenförmig sich windende Wellen. Wir sehen Schwingungen aller Größen mit einander sich mischen und wieder von einander sondern. Wir sehen auch dieses Meer weit hin verbreitet das

Innerste der Körperwelt durchdringen. Sie schließen das Innere dieser starren Welt uns auf, lehren uns den geheimnißvollen Bau der Körper kennen, lehren uns aus Trümmern die ursprüngliche Gestalt wiederfinden, wie etwa der Zoolog aus einem Zahn das Thier, dem er angehörte, wieder aufbaut. Die neuere Physiologie hat sogar gezeigt, daß es Erscheinungen giebt, welche dem Auge Eigenschaften seiner eignen brechenden Substanzen sichtbar machen; sie hat gezeigt, daß das Auge nicht bloß ein brechender, sondern auch ein polarisirender Apparat ist, und daß weißes polarisirtes Licht auf die Netzhaut ebenso Farbenbilder zeichnet, wie in einer geschliffenen Krystallplatte.

Wärme und Licht! Das sind die Wellen des Lebenselementes, auf dessen Boden die Pflanze wurzelt, in dessen Tiefe Thier und Mensch athmet. Wärme und Licht! Das sind die Wellen jenes rastlos kreisenden Stromes, der im Auf- und Niederwogen zahllose Wesen an seine Ufer wirft, um sie rückkehrend wieder in sich zu verschlingen. Wohl mag eine wildwogende Wasserfluth mit erhabenen Schauern das Herz durchbeben, wohl mögen die süßen Töne der Musik entzückend rauschen durch die Saiten der Seele; aber Licht und Wärme, das sind die zarten, geisterhaften Wellen, die allein Leben wecken und Geist entzünden in rohem Stoffe.

Ende.

Ule, Otto,

Die Erscheinungen der Wellenbewegung oder die Lehre von Schall, Licht und Wärme

Halle 1857